Die Erfassung und Auswertung von Porositäten in zahnärztlichen Goldgüssen

Konrad Schwarz

1975

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Erfassung und Auswertung von Porositäten in zahnärztlichen Goldgüssen

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz
den Medizinischen Fachbereichen
vorgelegt von

Konrad Schwarz
aus Wernigerode

Mainz 1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Fachbereichsdekan: Professor Dr. Dr. W. Ketterl
Referent: Professor Dr. H. Marx
Korreferent: Professor Dr. K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung: 29. 1. 1975

INHALT

	Seite
A. Einleitung	4
B. Problematik	
1. Ursachen von Porositäten und deren Beeinflussung	5
2. Untersuchungsmethoden	6
C. Herstellung von Analyseobjekten	
1. Gießen	11
2. Politur	12
3. Sägen	13
D. Auswertung	
1. Dichtebestimmung	14
2. Oberflächenlunker	14
3. Tiefenlunker	16
4. Quantimet und Micro-Videomat	21
E. Statistik	
1. Dichte als Außenkriterium	24
2. Direkter Vergleich Strichplatte/Raster	25
F. Tabellen, Abbildungen und Diagramme	26
G. Ergebnisse und Diskussion	45
H. Zusammenfassung	49
I. Literaturverzeichnis	5o
J. Anhang	51

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554413_0040

A. EINLEITUNG

Der Sinn der vorliegenden Arbeit ist es, die grundsätzlichen Möglichkeiten der Erfassung und Auswertung von Porositäten in zahnärztlichen Goldgüssen zu umreißen.

Es wird eine räumliche Untersuchung der Porositäten vorgenommen. Es soll versucht werden, eine Beziehung zur Dichte aufzuzeigen. Insbesondere werden die beiden praxisnahen mikroskopischen Auszählverfahren (Raster- und Strichplattenverfahren) miteinander verglichen. Der "Quantimet" und der "Micro-Videomat" werden geprüft. Auch werden Summenbilder aller ausgewerteten Flächen hergestellt, die unter gleichen Bedingungen entstanden sind.

B. PROBLEMATIK

1. Ursachen von Porositäten und deren Beeinflussung

Der zahnärztliche Guß wird heute praktisch nur noch in der Weise vorgenommen, daß die flüssige Schmelze durch einen oder mehrere Gußkanäle in eine Hohlform eingebracht wird, die dem herzustellenden Gußkörper exakt entspricht.
Es ist bis heute nicht gelungen, dieses Verfahren so zu beherrschen, daß ein vollständig "dichter" Guß immer gelingt. Die mehr oder weniger zu findenden Makro- und Mikroporositäten sind unvermeidlich und kaum zu steuern. Es handelt sich hierbei um einigermaßen kugelförmige Gasblasen, welche mit der Schmelze mitgerissen werden oder als Gase in ihr gelöst waren, sowie um die eigentlichen "Lunker", nämlich bizarre, verzweigte Höhlensysteme, die durch das Schrumpfen des erstarrenden Gußkörpers in der Hohlform entstehen, also Vakua sind (Abb.6).
Man versucht, diese Phänomene zu beeinflussen, indem man verändert:

a. Dicke und Anzahl sowie Anordnung der Gußkanäle, sowie deren Variationen, z. B. durch "Verlorenen Kopf" oder Verengerung oder Erweiterung am Ansatzpunkt (1,2).
b. Lage des Gußobjekts in der Gußmuffel.
c. Einbettmasse und Anmischtechnik (6).
d. Temperatur von Schmelze und Gußmuffel, sowie der genaue zeitliche Ablauf des Aufheizens der Gußmuffel (6).
e. Gußapparat, z. B. Vakuumguß (5,7).
f. Gußlegierung.

Es soll hier nicht näher auf diese Probleme eingegangen werden; es sei noch verwiesen auf KYSELOVA, KYSELA und MARES (11), LOEBICH (12), MARX (13), WAGNER (15) und WEIKART (17).

2. Untersuchungsmethoden

a. Sichtprüfung. Subjektiv, aber sehr schnell.

b. Trefferzählmethoden. Z.B. Verwendung der ZEISS-schen Integrationsokulare. Diese werden in den Strahlengang eines Mikroskops eingebracht, wo sie sich mit der vergrößerten, auszuwertenden Fläche überdecken. Es sind Linien und Punkte eingeritzt, welche definierte Teilflächen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit "treffen". Aus der Anzahl der Treffer ist das wahrscheinliche Flächenverhältnis der definierten Teilfläche zur Gesamtfläche zu errechnen. Relativ geringer materieller und zeitlicher Aufwand, doch einigermaßen objektive Ergebnisse, welche allerdings auf Wahrscheinlichkeit beruhen. Bevorzugt in der Geologie angewandt. Zur Auswertung von Gußporositäten weniger geeignet, weil der Flächenanteil der Porositäten zur Gesamtfläche sehr klein ist, und jeder Treffer überproportionale Bedeutung erlangt (8).

c. Rasterzählverfahren. Auf MARX geht ein Verfahren zurück, bei welchem ein quadratisches Rasternetz von 1 cm Kantenlänge, unterteilt in 2o x 2o = 4oo Felder, eingeritzt in eine Glasplatte, ähnlich der ZEISS-schen Strichplatte, in den Strahlengang eines Mikroskops gebracht wird. Nun kann die auszuwertende Fläche, sofern sie quadratisch ist, je nach Vergrößerung mit bis zu 4oo Teilflächen überdeckt werden. Diese werden einzeln auf gewünschte Strukturen ausgezählt. Damit ist auch eine genaue Ortsangabe verbunden. Dieses sehr differenzierte Verfahren ist ebenso mit relativ geringem materiellem Aufwand durchzuführen, erfordert jedoch viel Zeit und Geduld.

d. Teilchengrößenanalysator nach ENDTER (13). Dieses von ZEISS hergestellte Gerät gestattet die Auswertung von Strukturen, die sich entweder im Meßbereich von 1 - 9,2 oder von 1,2 - 27,7 mm bewegen. Diese 2 möglichen Meßbereiche sind in sich 48fach unterteilt. Die Analyse geht so vonstatten, daß man einen Lichtstrahl auf die auszuwertenden Teilflächen lenkt, wo sich dieser als runder Lichtfleck darstellt, dessen Radius innerhalb der 48fachen Verstellmöglichkeit so ausgewählt werden kann, daß der Lichtfleck der jeweils auszuwertenden Fläche etwa flächengleich ist. Über eine Fußtaste wird ein Impuls in dasjenige der 48 Einzelzählwerke des Geräts gegeben, welches die jeweils eingestellte Größe repräsentiert. Man erhält die Anzahl der ausgezählten Strukturen sowie deren größenmäßige Klassifizierung innerhalb des Meßbereichs. Diese Werte können bei Anschluß an Rechnereinheiten und Schnelldruckern sofort in Summen- und Volumenkurven hochgerechnet und ausgedruckt werden. Dieses Verfahren erfordert einen größeren apparativen und zeitlichen Aufwand. Insbesondere ist zu berücksichtigen, daß von jedem auszuwertendem Objekt eine geeignete fotografische Vergrößerung herzustellen ist. Teilchen unter einer bestimmten Größe werden nicht erfaßt. Die flächengleiche Abschätzung des Teilchens mit dem runden Lichtfleck ist subjektiv. Diese Methode wäre nur zu empfehlen, wenn es auf eine genaue Abstufung der Teilchengrößen, und nicht auf deren Lage ankommt.

e. Quantimet. EICKHOFF (5) verwendete den "Quantimet" der Fa."Metals Research Ltd.". Ein auf einem Monitor sichtbares, von Hand einzustellendes vergrößertes Teilbild einer auszuwertenden Fläche wird auf einen Hell/Dunkel-Kontrast festgelegt und dann automatisch prozentual erfaßt. In dieser

100%igen "Objektivität" dieses Verfahrens liegt der Nachteil begründet, daß selbst kleinste Kratzer und Staub als "Porositäten" mitgezählt werden. Es muß also ein extremer Hochglanz erreicht werden. Bei allen vorher beschriebenen Verfahren entscheidet der Beobachter, was gezählt wird. Diese Entscheidung kann der Automat nicht treffen, sondern muß vom Menschen auf einen Kontrast festgelegt werden, der viel zu undifferenziert ist.

f. Dichte. Je lunkerfreier, desto dichter ist ein Guß. Es liegt nahe, diese "Dichte" physikalisch feststellen zu wollen. Die Dichte (g/cm^3) ist definiert als Quotient aus Masse und Volumen. Während die Bestimmung der Masse mittels moderner Analysenwaagen bis auf 1/10 mg genau recht einfach durchzuführen ist, stößt die Volumenbestimmung solch kleiner, fester Körper, wie sie beim zahnärztlichen Goldguß üblich sind, auf erhebliche Schwierigkeiten. Die Bestimmung flüssiger Volumina bis auf 1/10 Mikroliter genau ist möglich bei Verwendung industriell hergestellter Pyknometer. Diese weisen einen für Gußkörper unpassierbar dünnen Hals auf (ca 1 mm lichte Weite). Die Herstellung eines Granulats erscheint nicht angebracht, da gerade die bedeutendsten Lunkerhohlräume verloren gingen. Zur Volumenbestimmung von Gußkörpern müßten (in Sonderanfertigung geschliffene) größere Pyknometer mit weitem Hals verwendet werden. Die Fehlertoleranz wäre jedoch mit 1/2 Mikroliter recht groß (4,9).
Eine andere Methode wäre das Ausmessen geeigneter Prüfkörper. Diese sollten möglichst groß gewählt werden, um den Einfluß der Meßfehler zu verringern. Geht man davon aus, daß es gelänge, exakte Gußwürfel von 8mm Kantenlänge herzustellen, (was allein schon unmöglich sein dürfte, denn jedes Oberflächenrelief wird

zwangsläufig Rillen und Vertiefungen aufweisen, welche die Messungen schon entscheidend verfälschen) so wäre es ohne weiteres möglich, mit Schublehren alle Kanten auf 1/100 mm genau auszumessen. Aus diesen Angaben wäre ohne Bestimmung zusätzlicher Winkelgrade das Volumen zu errechnen. Der maximale Fehler läge allerdings bei 1,9 Mikrolitern. ($8{,}00^3 = 512{,}000$; $8{,}01^3 = 513{,}922$) Bringt man einen Prüfkörper in ein Flüssigkeitsgemisch, das man solange variiert, bis er darin schwebt, so entspricht die Dichte des Prüfkörpers derjenigen des Flüssigkeitsgemischs. Die Dichte einer Flüssigkeit ist durch Bestimmung ihres Eigenschwingungsverhaltens auf 6 Stellen genau zu ermitteln. Dieses Verfahren ist bei Goldkörpern leider nicht anwendbar, da Flüssigkeiten ähnlich hoher Dichte nicht bekannt sind. Ein Modellversuch mit Leichtmetallen wie z.B. Magnesium (Dichte 1,74 g/cm^3) wäre denkbar (4). Am genauesten ist das Auftriebverfahren (3,4). Ein Prüfkörper wird erst in Luft und anschließend in einer Flüssigkeit bekannter Dichte gewogen. Es eignet sich eine Hydrostatische (Dichte-) Waage.

g. Röntgenmethoden. Eine quantitativ ausreichend genaue Messung von Mikroporositäten in Goldgüssen mittels Röntgenstrahlen ist denkbar bei Dünnschnitten von 1 Mikrometer. Diese sind möglicherweise ausreichend exakt auf galvanischem Wege herzustellen. Übliche Röntgenmethoden der metallverarbeitenden Industrie haben nur groben qualitativen Aussagewert, zur Feststellung von Rissen und Sprüngen besonders geeignet.

h. Magnetische Verfahren, wie sie z.B. Messerschmidt/Bölkow/Blohm anbietet, eignen sich nur zur Feststellung oberflächlicher Fehler. Sie beruhen auf einer Störung des Induktionsstroms.

i. Vollautomatische Analyseverfahren wie der "Micro-Videomat" (ZEISS) sind eine Weiterentwicklung und Vervollkommnung von Geräten wie des "Quantimet". Nach erfolgter Programmierung und Einstellung werden alle gewünschten Teilflächen automatisch durchgemessen, indem das Analyseobjekt auf einem Scanning-Tisch in vorher festgelegten Intervallen weiterbewegt wird.
Es werden Teilchengröße und -anzahl gemessen.
Durch geeignete Programmierung sind ferner Angaben zu erhalten über:
Anzahl der Partikel pro Flächeneinheit
Mittlere Fläche, mittlerer Durchmesser und
mittlerer Umfang pro Partikel
Äquivalenter Kreis- und Kugeldurchmesser
Volumen- und Gewichtsprozente
Spezifische Oberflächen
Streckungsfaktoren
mittlerer Teilchenabstand
Der "Micro-Videomat" wird in der metallverarbeitenden und Spinnereiindustrie häufig eingesetzt (Abb. 7).

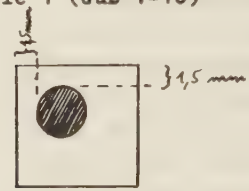
C. HERSTELLUNG VON ANALYSEOBJEKTEN

1. Gießen

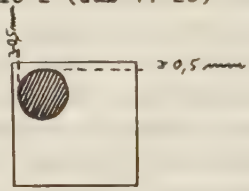
Es wurden 4o Gußwürfel mit einer Kantenlänge von knapp 8 mm hergestellt. Die Fa. DEGUSSA stellte dankenswerterweise das benötigte Hartgold "Degulor M" zur Verfügung.

Als Gußmodell dienten 4o gesägte Plexiglaswürfel (Methylmethacrylat) [x]). In diese wurden Bohrungen von 3 mm lichter Weite an folgenden Stellen angebracht:

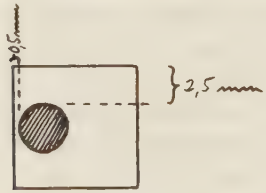
Serie 1 (Guß 1-1o)



Serie 2 (Guß 11-2o)



Serie 3 (Guß 21-3o)



Serie 4 (Guß 31-4o)

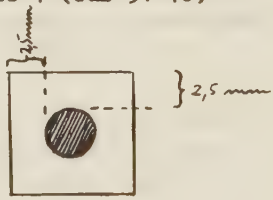


Abb. 1 Gußstiftansätze

[x])Es sei Herrn Stütz von der Materialprüfungsanstalt Darmstadt für die exakte Herstellung der Plexiglaswürfel gedankt.

In die Bohrungen wurden Gußstifte gleichen Durchmessers eingewachst. Die Gußmodelle mit Stift wurden in einen DEGUSSA-Gummisockler eingebracht, so, daß der Gußkanal von der Trichtermulde bis zum Gußobjekt 1o mm mißt. Der zentrierte Würfel wurde mit Durotherm-Einbettmasse umgeben, welche 3o Sekunden im Vakuum angemischt wurde..Die Vorwärmzeit betrug 2o Minuten bei 4oo°C, anschließend 25 Minuten 7oo°C. Plexiglas entflammt sich bei Temperaturen von 38o°C. Bei offener Flamme schon bei 25o°C. Beim Verbrennen hinterläßt es schwarze Rückstände, die sich an der Hohlformwandung niederschlagen und das spätere Gußobjekt bedecken.

Für jeden Guß wurden 15 g Degulor M elektrisch geschmolzen und mit einer Horizontal-Tiegelschleuder in die Hohlform gebracht. Leider war eine Kontrolle der Temperatur der einschießenden Schmelze nicht möglich, da geeignete Thermosonden nicht zur Verfügung standen. Diese Fehlerquelle wurde zu überspielen versucht, indem exakt 1o Sekunden nach Auftreten des bekannten reflektierenden Punktes, der mit der Kugelung der Schmelze an deren Oberfläche auftritt, gegossen wurde. Lediglich auf genau gleiche Bedingungen bei jedem Guß wurde Wert gelegt, und nicht auf lunkerarme Güsse. Gerade durch die sehr strömungsungünstige Würfelform und die Lage nicht im optimalen Bereich der Gußmuffel sollten möglichst viele Lunker provoziert werden, um die Analyseverfahren genauer beurteilen zu können.

2. Politur

Die Würfel wurden in einem Metallring regelmäßig angeordnet, mit schnellhärtendem Kunststoff Technovit 4o71-d der Fa. Kulzer, Bad Homburg [x]) vergossen, und alle 4o Rückseiten der Würfel in einem Arbeitsgang poliert; erst mit rotierenden Schleifscheiben, angefangen mit Korngröße 8o bis Korngröße 4oo, dann mit

[x]) Der Fa. Kulzer danke ich für das zur Verfügung gestellte Technovit 4o71-d.

Filzscheiben und Tonerde. In dieser Weise wurden auch die anderen 5 Seiten der Würfel poliert.

3. Sägen

Die Würfel wurden in 4 Scheiben zersägt. Die ersten 5 Würfel jeder Serie senkrecht, die letzten 5 waagerecht zur Gußstiftebene:

Würfel	1 - 5	Würfel	6 - 1o
	11 - 15		16 - 2o
	21 - 25		26 - 3o
	31 - 35		36 - 4o

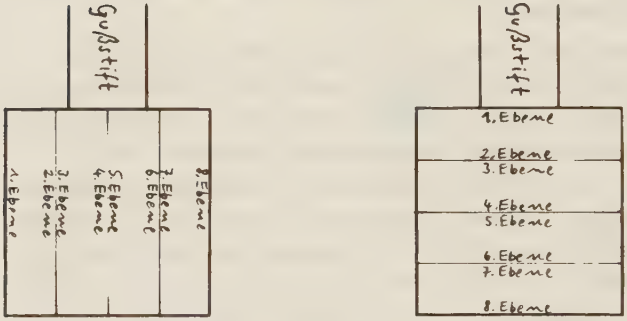


Abb. 2 Schnittebenen

Um den Sägespalt zu minimieren, wurde eine "Blitz-Einstichsäge" verwendet mit Metallsägeblättern von 0,2 mm Dicke. Die Gußkörper wurden auf einem gefrästen Metallklotz mit einer Klemmvorrichtung fixiert; der Metallklotz in einen Schraubstock gespannt. Das dünne Sägeblatt war so wenig steif, daß es sich beim Sägen stauchte und wölbte. So waren auch die Schnittflächen nicht plan, sondern leicht gewölbt. Sie wurden anschließend plan geschliffen. Die Dicke der gewonnenen Scheiben schwankte deshalb zwischen 1,5 und 1,7 mm. Sie wurden in der gleichen Weise wie die ganzen Würfel auf beiden Seiten poliert.

D. AUSWERTUNG

1. Dichtebestimmung

Die Dichtebestimmung der 4o Gußwürfel wurde mit einer Hydrostatischen (Dichte-) Waage bei einer gleichmäßigen Raumtemperatur von 2o°C durchgeführt (3).Die Würfel wurden entfettet und erst in Luft, dann in Wasser gewogen. Die Hydrostatische Waage zeigt jeweils einen Trockenwert T und Naßwert N an. Dies sind benennungslose Verhältniswerte, aus denen sich die Dichte errechnen läßt:

$$D = \frac{1,84 - T}{N - T} D_{H_2O} \quad \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

Die Dichte des Wassers bei 2o°C beträgt 0,9982o $\frac{g}{cm^3}$

Zusätzlich wurden die Massen mit einer Analysenwaage bestimmt. Folglich sind auch die Volumina zu errechnen. Auch das relative Lunkervolumen wäre errechenbar, es ist jedoch für die Auswertung belanglos (Tab. 1).

Fehlerrechnung: Mittelwert von T = $\bar{T}$ = 1,2114
Mittelwert von N = $\bar{N}$ = 1,2551

Wie aus Tab. 1 zu ersehen, ist in der 4. Stelle hinter dem Komma lediglich eine gerade Ziffer sicher abzulesen. Also beträgt der Ablesefehler von N sowie von T ± 0,0001.
Daraus ergibt sich ein prozentualer Ablesefehler von 0,44%.

2. Oberflächenlunker

Es wurden alle Oberflächen der Würfel nach dem Rasterzählverfahren ausgewertet. Verwendet wurde ein ZEISS - Stereomikroskop Typ 01 mit eingebautem Objektivpaar 0,63 und einem 1ofach vergrößerndem Okular mit einstellbarer Augenlinse, so daß sich eine Gesamtvergrößerung von 6,3 ergab. In einem der beiden Okulare befand sich eine Glasplatte im Strahlengang, in welche folgendes Raster eingeritzt war:

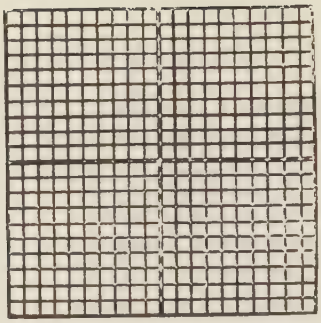


Abb. 3
Raster mit 2o x 2o Feldern

Auf einer Fläche von 1 cm^2 befinden sich 4oo Einzelfelder. Die im Auflicht zu betrachtenden Oberflächen der Würfel erscheinen beim Beobachten im Mikroskop vom Rasternetz überdeckt. Die Oberflächen wiesen eine Kantenlänge von ca. 7,7 mm auf. (Plexiglasrückstände und Politur verkleinerten die Würfel) Da das Rasternetz nicht 6,3fach, sondern 1ofach vergrößert wird (es befindet sich im Okular), ergibt sich, daß eine Oberfläche von knapp 1o x 1o Feldern überdeckt wird. Die Randfelder werden nicht ganz ausgefüllt. Dies ist bei einer starren Vergrößerung unvermeidbar.
Die Oberflächen wiesen zahlreiche, durch das Auflicht dunkel erscheinende Porositäten verschiedener Größe auf. Die Unterscheidung von Kratzern ist problemlos. Deutlich erkennbare Punkte wurden als Lunker (OL) bezeichnet; größere wurden dreifach bewertet. Mißt ein Lunker 1/4 der Kantenlänge eines Einzelfelds, so wird er mit römisch I bezeichnet; mißt er die halbe Kantenlänge, mit römisch II. Die mit römischen Ziffern bezeichneten Lunker wurden als Makrolunker (OML) eingestuft und 1ofach bewertet. Sie werden in den Tabellen gesondert erwähnt. Diese Makrolunker haben einen Durchmesser von mindestens 1/5 mm. Die Felder des Rasters werden in dieser Weise durchgezählt und einem Mitschreibendem diktiert.

Tab.2 gibt eine Übersicht der Oberflächenporositäten. Die Lage der mit römisch I bis VI bezeichneten Oberflächen wird aus den Symbolzeichnungen in Tab.3 deutlich. Der Punkt in der schraffierten Fläche gibt den Gußstiftansatz wieder. Die jeweils ausgewertete Oberfläche zeigt die zugehörige römische Ziffer. In Tab.3 sind die gleichen Oberflächen der je 1o Würfel einer Serie aufaddiert. Die Summen rechts unten in fetten Ziffern, darunter in Klammern gesondert die die Makrolunker. Die Tab.3 zeigt die Summenbilder aller unter gleichen Bedingungen entstandenen Oberflächen. Die 4 Gußstiftebenen (VI) zeigen (besonders bei Serie 4) deutlich den Gußstiftansatz. Er ist relativ lunkerfrei, während sich um den Gußstiftansatz die Lunker häufen.(5). In der Tiefe des Gusses nimmt die Zahl der Lunker ab, um auf der gußstiftabgewandten Fläche (V) ein Minimum zu erreichen. In jeder der Serien zeigt Oberfläche V die geringste und Oberfläche VI die höchste Lunkerzahl. Die Oberflächen I, II, III, IV der Serie 4 sind unter gleichen Verhältnissen entstanden; ihre Lunkerzahl liegt sehr nahe beieinander. Die Gesamtsumme aller Lunker jeder Serie sind ebenfalls angegeben. Eine Abhängigkeit von der Dichte ist nicht feststellbar.

3. Tiefenlunker

Die Würfel wurden 3fach zersägt, so daß 8 auswertbare Ebenen vorlagen. Die Lage der Ebenen geht aus Abb.2 hervor. So liegt beispielsweise
das 13. Feld der 6. Reihe der 2. Ebene genau unter dem 13. Feld der 6. Reihe der 1. Ebene und genau über dem 13. Feld der 6. Reihe der 3. Ebene.
Alle Ebenen wurden nach dem Raster- und dem Integrations(Strichplatten-) Verfahren ausgezählt. Verwendet wurde diesmal ein ZEISS-Stereomikroskop III mit Zoom-Objektiv, welches eine stufenlos einstellbare Vergrößerung gestattet. Bei einer Vergrößerung von ca 13 füllten die Ebenen das gesamte Raster mit 4oo Feldern

aus. Die Zahl der Lunker ist bei dieser Vergrößerung so unübersehbar groß, daß nur deutlich erkennbare Lunker ab einer gewissen Größe gezählt wurden. Grö= ßere Lunker wurden wieder 3fach und Makrolunker (römisch I) 1ofach bewertet. Makrolunker mit einem Durchmesser von mindestens 1/5 mm füllten eine halbe Felderlänge. Füllten sie das halbe Feld, wurden sie mit römisch II, füllten sie das ganze Feld, mit rö= misch IV bewertet. Die Ebenen wurden reihenweise durchgezählt undeinem Mitschreibenden diktiert. Die Ergebnisse sind in den Lunkerschaubildern der Güsse 1 bis 4o wiedergegeban (Anhang). Die Lunker sind reihen- und linienweise addiert. Die Gesamtsumme jeder Ebene ist rechts unten addiert (unterstrichene Zahl). Dahinter in Klammern gesondert die Makrolun= ker. Die Summe aller Lunker eines Gusses ist in den Lunkerschaubildern (Lsb.) links oben in größeren Ziffern wiedergegeben; dahinter in Klammern die Summe der Makrolunker des Gusses. Sieht man sich beispielsweise das Lsb. Guß 17 an, so ist die 1. Ebene links oben angegeben. Darunter die 3., 5. und 7. Ebene; rechts von der 1. die 2. , darunter die 4., 6. und 8. Ebene. In der 1. Ebene sieht man deut= lich den Gußstiftansatz; daneben sehr viele Lunker, die sich aber nur auf die Oberfläche beschränken. Die 2. Ebene ist bereits recht lunkerfrei. Sieht man sich alle Lsb. der Güsse 1 bis 4o an, so fällt immer wieder die Häufung der Lunker an den Oberflächen (insbesondere der Oberfläche des Gußstiftansatzes) auf. EICKHOFF (5) beobachtete Ähnliches. Tab. 4 gibt eine Übersicht der Tiefenporositäten. Es sind pro Guß die 8 Ebenen sowie deren Summen wiedergegeben, und zwar die Lunkerzahlen (L), die Makrolunker (ML) sowie die Ergebnisse der Strichplatte (SP). Ähnlich den Oberflächenlunkern wurden alle unter gleichen Bedingungen entstandenen Ebenen einer Serie felder= weise aufaddiert, jeweils 5 Güsse einer Serie, die eine Hälfte senkrecht, die andere waagerecht ge=

schnitten. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tab. 4 enthalten unter der Bezeichnung 1 - 5, 11 - 15, usw. Die Lunkersummenschaubilder (Lssb., Anhang) Guß 1+...+5, Guß 6+...+1o, Guß 11+...+15, usw. bis Guß 36+...+4o geben die 5fach aufsummierten Ergebnisse jedes Einzelfeldes wieder. Betrachtet man sich die aufsummierte 1. Ebene von Guß 16+...+2o, so erkennt man noch deutlicher als in den Einzelebenen die Lunkerfreiheit des Gußstiftansatzes, die Häufung daneben, und die Gruppierung, insbesondere der Makrolunker, an den Oberflächen. Charakteristisch ebenfalls Guß 36+---+4o. Häufung der Lunker in der Gußstiftebene, aber in der 2. Ebene bereits relative Lunkerfreiheit bis zur Rückseite der Würfel. Die Punktsymmetrie wird in allen Ebenen deutlich. Im senkrechten Schnitt dieser Serie (Guß 31+...+35) erkennt man die Häufung der Lunker in den rechten Linien und die Lunkerarmut am Gußstiftansatz (5. Ebene, 5. rechte Linie, mittlere Reihen).
Die Ebenen wurden ebenfalls nach dem Strichplatten=verfahren ausgewertet. Zur Anwendung kam eine ZEISS-Integrationsplatte I mit 25 Punkten auf 5 Linien in einem Quadrat von 11,4 mm Kantenlänge. (Diese Größe ist eine Sonderanfertigung.)

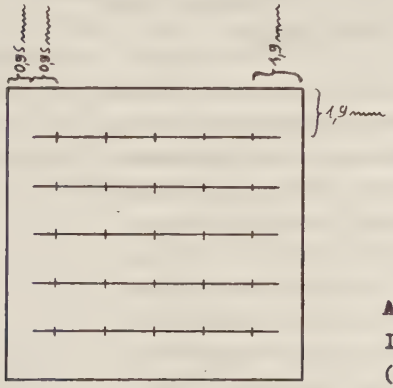


Abb. 4
Integrationsokular I
(ZEISS)

Um das Quadrat auszufüllen, war eine Vergrößerung von ca. 11,5 erforderlich. Nun wurden sämtliche, auch die kleinsten, Lunker gezählt, welche die Linien berührten. Dann wurde die Strichplatte um 90° gedreht und die 5 Linien erneut ausgezählt. Die Ergebnisse sind mit fetten, größeren Ziffern in den Lunkerschaubildern der Güsse 1 bis 40 wiedergegeben, ebenso die 5fach aufaddierten in den Lunkersummenschaubildern der Güsse 1+...+5, 6+...+10 bis 36+...+40. Projiziert man die Linien der Strichplatte (um das $\frac{10}{11,5} = 0,87$fache verkleinert) auf das Raster, so ergibt sich folgendes Bild:

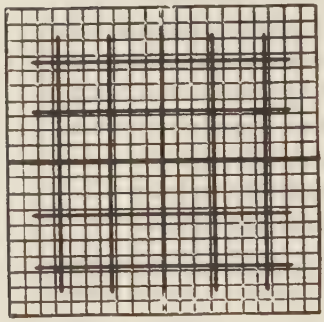


Abb. 5
Projektion der 2 Strichplattenpositionen auf das Raster

Die Summe der 10 Strichplattenzahlen jeder Ebene ist rechts unten in den Lunkerschaubildern ebenfalls in fetten, größeren Ziffern wiedergegeben. Ebenso die Summe eines Gusses links oben hinter der in Klammern gesetzten Zahl der Makrolunker. Beispiel: Guß 19: Strichplattenergebnis (SP) der 3. Ebene = 6, SP des Gusses = 165 (bei ML = 37 und L = 1967). In gleicher Weise sind die 5fach aufsummierten Ergebnisse der Strichplattenmethode in den Lunkersummenschaubildern wiedergegeben.

Betrachtet man die 1. Ebene des Gusses 2o, so fällt auf, wie die Zahlen von oben nach unten und von links nach rechts abfallen, entsprechend den Werten des Rasterverfahrens. Fast in jeder der 32o Ebenen ist festzustellen, wie steigende SP-Werte mit steigenden L- und ML-Werten einhergehen. Allerdings sind die Randgebiete beim Strichplatten=verfahren deutlich benachteiligt. So sieht man bei der 8. Ebene des 2o. Gusses, daß die sehr zahlrei=chen Makrolunker des rechten Randes sich in der 5. senkrechten Linie der Strichplatte mit dem Wert 3 kaum niederschlagen. Daß der Zufall eben eine große Rolle spielt, zeigt auch die 4. senkrechte Linie der 2. Ebene des gleichen Gusses mit dem Wert 7. Es wurden beim Strichplattenverfahren eben alle, auch die allerkleinsten gerade sichtbaren Porositäten gezählt. Würde der gleiche Maßstab wie beim Rasterverfahren angelegt, entstünden überwie=gend O-Werte. Beim Strichplattenverfahren sind also gegenüber dem Rasterverfahren kleinste Poro=sitäten überrepräsentiert. Die genaue Ortsangabe der Lunker ist der wesentlichste Vorteil des Ra=sterverfahrens, was die Herstellung der sehr über=sichtlichen Lunkerschaubilder ermöglicht (Anhang). Ferner können viel differenziertere Angaben ge=macht werden, besonders wenn das Raster voll aus=genutzt wird. Der große Vorteil des Strichplatten=verfahrens ist die einfache und sehr schnelle Hand=habung. Dagegen ist das Rasterverfahren äußerst mühsam und zeitraubend, und kann ohne einen Mit=schreibenden praktisch nicht durchgeführt werden.

4. Quantimet und Micro-Videomat

Der zuerst von EICKHOFF (5) zur Lunkerauswertung angewandte "Quantimet" wird dort ausführlich beschrieben. Die auszuwertenden Flächen werden von einem Mikroskop vergrößert, mit einer Kamera aufgenommen, auf einem Monitor wiedergegeben, auf einen Hell - Dunkel - Kontrast eingestellt, und die Summe aller dunklen Flächen in der Gesamtfläche in Prozent angegeben. Je nach Wahl der Vergrößerung können die auszuwertenden Flächen in beliebig viele Einzelflächen unterteilt und auf dem Monitor zur Auswertung eingestellt werden.

Der Fortschritt des "Micro-Videomat" liegt vor allem darin, daß nach erfolgter Programmierung und Einstellung unter dem Mikroskop alles vollautomatisch abläuft. Die Ergebnisse werden von angeschlossenen Rechnereinheiten sofort in vorher programmierter Weise ausgewertet und hochgerechnet und von Schnelldruckern sofort ausgedruckt. (Abb. 8).

Die Abb. 8-11 enthalten 4 charakteristische Ebenen, die nach 5 Methoden geprüft wurden:

1. Sichtprüfung aufgrund einer Fotografie [x])
2. Rasterverfahren
3. Strichplattenverfahren
4. Micro-Videomat [xx])
5. Quantimet [xxx])

[x]) Mein Dank gebührt Frl. Birnbaum von der Zahnklinik Mainz für die Herstellung der Fotografien.

[xx]) Der Fa. ZEISS, insbesondere Herrn J. Tuente, danke ich für die Hilfe beim Auswerten mit dem Micro-Videomat.

[xxx]) Für die Gelegenheit, den Quantimet benutzen zu können, sei Herrn Dr. Kohlhaas von der Versuchsanstalt der Stahlwerke Röchling-Burbach, Völklingen, gedankt.

Abb.8: 7. Ebene des 2. Gusses:
Die Sichtprüfung zeigt rechts oben 3 besonders große Makrolunker. Auch sonst viele Häufungen mittlerer bis großer Lunker, aber auch viele lunkerfreie Areale. Im Raster finden man recht viele II-Werte, was bedeutet, daß diese Felder mindestens in der halben Fläche mit Lunkern ausgefüllt sind. Sonst auch recht hohe Lunkerzahlen pro Feld, aber auch recht viele lunkerfreie Felder. Die SP-Ergebnisse sind recht hoch und zeigen in den rechten Bezirken eine Häufung. Bei Auswertung mit dem Micro-Videomat wurde die Ebene in 3 x 4 Einzelflächen unterteilt mit 227omy Länge und 163omy Breite. Das ergibt eine Einzelfläche von 37oo1oo my^2 oder 3,7oo1 mm^2. Gemessen wird von links oben (Feld k = 1; Summe aller dunklen Flächen = 63 618 my^2, was einem Flächenanteil A von 17‰ entspricht) bis rechts oben (k = 3; A = ‰). Alsdann eine Reihe tiefer von links nach rechts (k = 4 bis k = 6) usw. bis zum letzten Feld rechts unten (k = 12). Der Durchschnittswert aller Einzelflächen und somit der dunkle Flächenanteil der Gesamtfläche beträgt 134 ± 143 ‰. Beim Auswerten mit dem Quantimet wurde die 5ofach vergrößerte Ebene in 9 x 15 Einzelflächen von 3o x 2o cm Kantenlänge unterteilt (Der Monitor vergrößert zusätzlich noch etwa 75fach). Diese werden unter Kontrolle des Monitors eingestellt. Es wird von links oben bis rechts unten durchgemessen. Die Werte schwankten zwischen o,oo und 658‰. Es ergab sich ein Lunkeranteil von 123,4‰. Der Wert weicht etwas vom Ergebnis des Micro-Videomat ab. Micro-Videomat und Quantimet zeigen in den Bezirken der Makrolunker sehr hohe Werte an; der Quantimet oft sogar mehr als die Hälfte einer Einzelfläche. Der Micro-Videomat mißt größere Einzelflächen mit bis zu 416‰ Lunkeranteil. Alle 5 Auswertverfahren geben die hohe Lunkerzahl wieder, auch der Ort der größten Lunkerhäufigkeit ist wiedergegeben, am unklarsten jedoch beim Strichplattenverfahren.

Abb.9: 2. Ebene des 11. Gusses:
Ein typischer Schnitt senkrecht zur Gußstiftebene. Ganz charakteristisch die Lunkerhäufung am oberen Rand, im Raster durch sehr viele, vor allem Makro=lunker, wiedergegeben. In diesem Fall deutliches Versagen des Strichplattenverfahrens; die Haupt=masse der Lunker wird nicht erfaßt. Micro-Videomat und Quantimet zeigen die Randständigkeit der Poro=sitäten genau an. Deren Schnittwerte sind etwas abweichend.
Abb.1o:5. Ebene des 14. Gusses:
Eine sehr lunkerfreie Ebene. Es wird deutlich, daß man sich beim Rasterverfahren auf deutlich sicht=bare, größere Porositäten beschränken muß. (Die bei der Auswertung der Oberflächen gewählte Vergrößerung von 6,3 wurde als günstig empfunden) Zu beachten ist auch, daß die Auflichtverhältnisse beim Fotografie=ren andere sein müssen als beim Mikroskop. Keine Makrolunker. Das Strichplattenverfahren zeigt einen Treffer, der bei dieser Lunkerarmut sehr vom Zufall abhängig ist. Die Ergebnisse von Micro-Videomat und Quantimet zeigen deutliche Abweichungen. Der Grund dürfte darin liegen, daß sich beim Micro-Videomat der Kontrast wesentlich schärfer einstellen läßt, bzw. weiter zu variieren ist. Man kann durch andere Kontrastierung wesentlich geringere oder höhere Werte erhalten. Diese Variationsbreite sinkt mit steigendem Flächenanteil.
Abb.11:1. Ebene des 2o. Gusses:
Typische Gruppierung der Lunker um den Gußstift. Mit zunehmender Entfernung vom Gußstift verlieren sich die Lunker. Die Porositäten sind in der linken oberen Hälfte recht homogen verteilt; kaum Makro=lunker. Das Raster ist ein sehr genaues Abbild der Fotografie. Die SP-Werte zeigen die Häufung nach links oben. Ebenso zeigen Micro-Videomat und Quan=timet die hohen Flächenanteile der linken, oberen Hälfte. Das "Loch" des Gußstiftansatzes ist beim Quantimet deutlich, beim Micro-Videomat aufgrund der größeren Einzelfelder kaum zu erkennen.

E. STATISTIK

1. Dichte als Außenkriterium

Die Tab. 5 gibt eine Übersicht der mit verschiedenen Methoden gewonnenen Ergebnisse. Daraus wurden Volumeneinheiten gebildet, welche den Makrolunker $1o^3 = 1\,000$ fach bewerten. Dies ist eine räumliche Hochrechnung, denn bei der ursprünglichen Bewertung der Makrolunker mit dem 1ofachen eines Lunkers wird nur die Länge mit 1o multipliziert. Die Makrolunker werden somit bei der Bildung der Volumeneinheiten erheblich stärker gewichtet gegenüber den Mikrolunkern.

Es wurden folgende Werte in Korrelation zum Außenkriterium Dichte gesetzt (10,16):

OL = Oberflächenlunker
TL = Tiefenlunker
VEO = Volumeneinheit der Oberflächenlunker
VET = Volumeneinheit der Tiefenlunker
SP = Ergebnisse des Strichplattenverfahrens

Tab. 6 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse des Zusammenhangs zwischen der Dichte und den Ergebnissen des Raster- und des Strichplattenverfahrens. Es zeigt sich bei TL - D eine bessere Korrelation als bei VET - D. Hingegen korreliert VEO - D besser als OL - D. Es zeigt sich, daß bei Auswertung der Oberflächen die Makrolunker ein besseres Maß für die Qualität des Gusses darstellen, bei Auswertung innerer Ebenen jedoch die (Mikro-) lunker. Auffällig ist die fast gleiche Korrelation von SP - D und TL - D.

Die Diagramme 1 - 5 zeigen grafisch die Abhängigkeiten von OL, TL, VEO, VET und SP zum Außenkriterium Dichte. Die Regressionsgeraden sind eingezeichnet.

2. Direkter Vergleich Strichplatte / Raster

Der Hauptsinn dieser Arbeit liegt im Vergleich dieser beiden Verfahren. Dazu dienen sehr anschaulich die Lunkerschaubilder der Güsse 1 - 40 sowie die Lunkersummenschaubilder 1+...+5 bis 36+...+40 (Anhang). Es ist erstaunlich, daß diese beiden Verfahren fast den gleichen Korrelationskoeffizienten zur Dichte aufweisen:

$r_{TL} = -0,2507$

$r_{SP} = -0,2494$

(Tab. 6)

Eine Korrelationsrechnung SP - TL ergibt:

$\bar{x} = 1,25625$

$\bar{y} = 1,1913$

$S_x = 50,25$

$S_y = 47,652$

$Sx^2 = 71,7564$

$Sy^2 = 75,000688$

$Sxy = 68,88747$

$b = 1,045$

$a = -0,1207$

$r = 0,7189$

Der Korrelationskoeffizient ist mit 0,7189 also recht hoch. Dies zeigt, daß diese beiden Verfahren sehr gut miteinander vergleichbar sind; ihre Genauigkeit ist fast gleich.

Diagramm 6 zeigt die Korrelation SP - TL. Die Regressionsgerade ist eingezeichnet.

F. TABELLEN, ABBILDUNGEN UND DIAGRAMME

Tabellen: Seite

1. Dichtebestimmung 27
2. Liste der Lunker und Makrolunker der Oberflächen und deren Summen 28
3. Liste der aufaddierten Oberflächenlunker der Serien 1 - 4 29
4. Liste der Tiefenlunkerwerte, gewonnen mit Raster- und Strichplattenverfahren 3o
5. Übersicht der Ergebnisse (Dichteprüfung, Raster-, Strichplattenverfahren) 31
6. Ergebnisse der statistischen Analyse des Zusammenhangs zwischen der Dichte und den Ergebnissen des Raster- und des Strichplattenverfahrens 32

Abbildungen:

1. Gußstiftansätze 11
2. Schnittebenen 13
3. Raster mit 2o x 2o Feldern 15
4. Integrationsokular I (ZEISS) 18
5. Projektion der 2 Strichplattenpositionen auf das Raster 19
6. Lunkeraufnahmen in verschiedenen Vergrößerungen 39
7. Micro-Videomat 4o
8. Vergleich der Auswertverfahren anhand der 7. Ebene des 2. Gusses 41
9. Vergleich der Auswertverfahren anhand der 2. Ebene des 11. Gusses 42
1o. Vergleich der Auswertverfahren anhand der 5. Ebene des 14. Gusses 43
11. Vergleich der Auswertverfahren anhand der 1. Ebene des 2o. Gusses 44

Diagramme:

1. Korrelation OL - D 33
2. Korrelation TL - D 34
3. Korrelation VEO - D 35
4. Korrelation VET - D 36
5. Korrelation SP - D 37
6. Korrelation SP - TL 38

DICHTEBESTIMMUNG **Tab. 1**

Nr.	Masse m (g)	Trockenwert T	Naßwert N	1,84 - T	N - T	Volumen V (mm^3)	$D=\frac{1,84-T}{N-T}0,9982(\frac{g}{cm^3})$	Serienduchschnitt
1	6,1831	1,2224	1,2656	0,6176	0,0432	433,277	14,270562	
2	6,2893	1,2116	1,2558	0,6284	0,0442	443,170	14,191603	
3	6,2815	1,2126	1,2568	0,6274	0,0442	443,326	14,169019	
4	6,3523	1,2054	1,2500	0,6346	0,0446	447,247	14,203087	
5	6,5934	1,1820	1,2258	0,6580	0,0438	439,683	14,995789	
6	5,9799	1,2454	1,2846	0,5946	0,0392	394,945	15,141063	
7	6,3500	1,2056	1,2502	0,6344	0,0446	446,057	14,198611	
8	6,3334	1,2074	1,2522	0,6326	0,0448	435,867	14,095118	
9	6,1436	1,2262	1,2698	0,6138	0,0436	437,184	14,052640	
10	6,0831	1,2354	1,2742	0,6046	0,0388	391,084	15,554425	
11	6,2610	1,2146	1,2592	0,6254	0,0446	447,304	13,997180	
12	6,4585	1,1950	1,2400	0,6450	0,0450	451,405	14,307533	
13	6,3645	1,2042	1,2484	0,6358	0,0442	443,249	14,358722	
14	6,2403	1,2166	1,2606	0,6234	0,0440	441,238	14,142678	
15	6,0565	1,2382	1,2776	0,6018	0,0394	397,235	15,246617	
16	6,1771	1,2228	1,2666	0,6172	0,0438	439,152	14,065959	
17	6,4954	1,1916	1,2356	0,6484	0,0440	441,568	14,709837	
18	6,2282	1,2180	1,2620	0,6220	0,0440	441,374	14,110917	
19	6,1125	1,2292	1,2724	0,6108	0,0432	433,097	14,113438	
20	6,3711	1,2038	1,2478	0,6362	0,0440	441,423	14,433063	
21	6,2273	1,2180	1,2622	0,6220	0,0442	443,316	14,047067	
22	6,2724	1,2136	1,2568	0,6264	0,0432	433,359	14,473900	
23	6,4044	1,2004	1,2452	0,6396	0,0448	449,397	14,251086	
24	6,3528	1,2054	1,2502	0,6346	0,0448	449,288	14,139680	
25	6,5108	1,1898	1,2352	0,6502	0,0454	455,434	14,295806	
26	6,3101	1,2098	1,2542	0,6302	0,0444	445,372	14,168144	
27	6,2154	1,2192	1,2630	0,6208	0,0438	439,312	14,148002	
28	6,3762	1,2032	1,2476	0,6368	0,0444	445,373	14,316525	
29	6,4291	1,1980	1,2434	0,6420	0,0454	455,163	14,115515	
30	6,2171	1,2192	1,2636	0,6208	0,0444	445,452	13,956813	
31	6,2662	1,2142	1,2594	0,6258	0,0452	453,408	13,820210	
32	6,7471	1,1662	1,2104	0,6738	0,0442	443,395	15,216903	
33	6,4501	1,1958	1,2416	0,6442	0,0458	459,402	14,040184	
34	6,3980	1,2008	1,2472	0,6392	0,0464	465,273	13,751065	
35	6,2955	1,2114	1,2556	0,6286	0,0442	443,466	14,196119	
36	6,3959	1,2014	1,2460	0,6386	0,0446	447,496	14,292611	
37	6,2233	1,2186	1,2632	0,6214	0,0446	447,472	13,907656	
38	6,3029	1,2108	1,2532	0,6292	0,0424	425,500	14,812910	
39	6,0947	1,2344	1,2744	0,6056	0,0400	403,282	15,112748	
40	6,0756	1,2360	1,2760	0,6040	0,0400	403,083	15,072820	

14,348 594 4

14,191 253 8

14,422 322 6

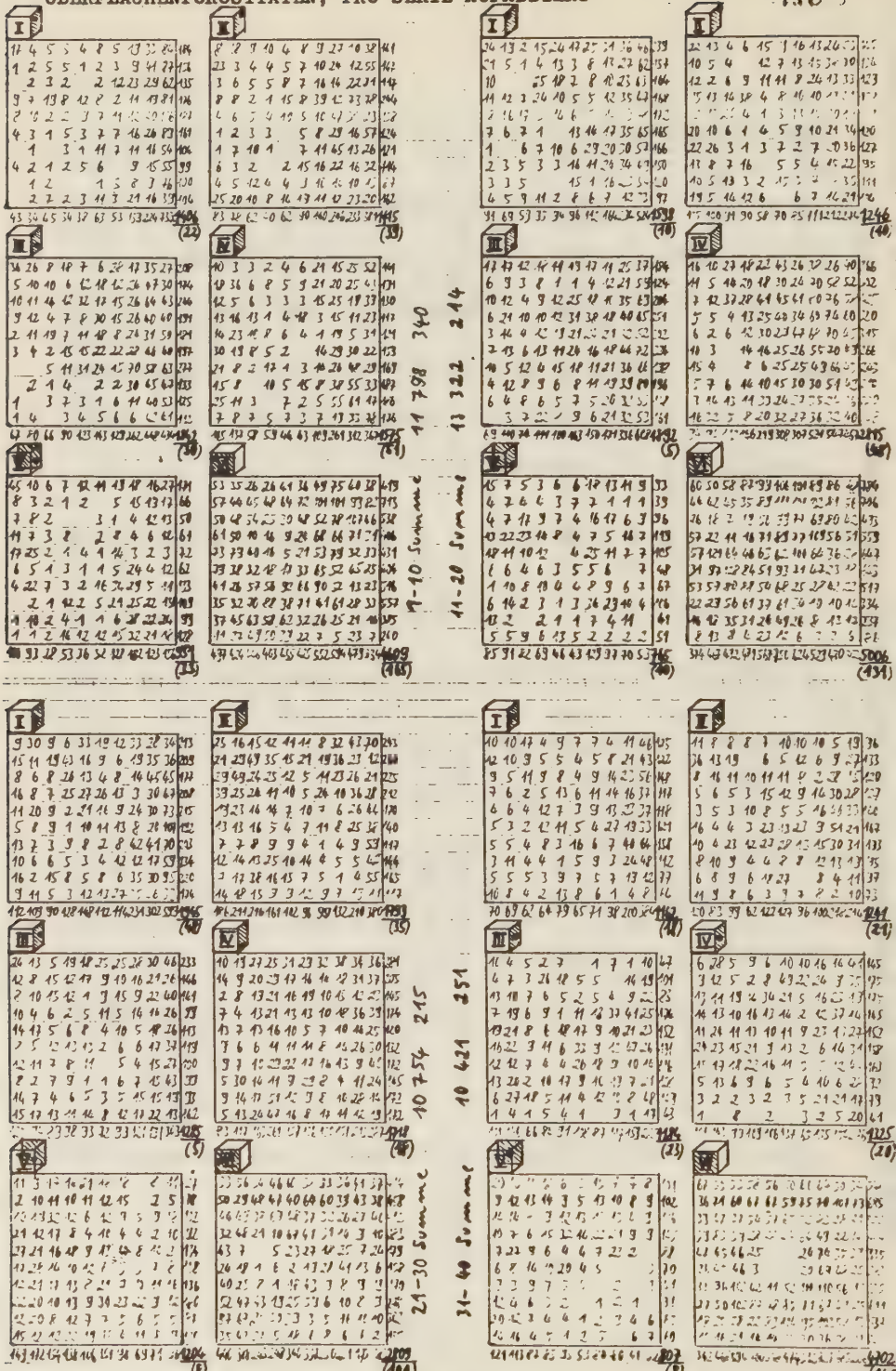
14,487 191 7

LISTE DER LUNKER UND MAKROLUNKER DER OBERFLÄCHEN UND DEREN SUMMEN

Tab. 2

		Nr. des Gusses	I	II	III	IV	V	VI	I+...+VI		Nr. des Gusses	I	II	III	IV	V	VI	I+...+VI
Lunker = L	L	1	149	18	86	148	4	922	1327	L	21	301	305	135	337	82	144	1354
Makrolunker = ML	ML		4	o	2	9	o	32	47	ML		9	3	1	1	o	2	16
	L	2	143	110	123	139	130	506	1151	L	22	154	249	125	110	47	154	839
	ML		1	3	3	2	3	13	25	ML		3	4	o	1	o	6	14
	L	3	202	71	375	173	165	329	1315	L	23	224	97	190	176	106	410	1203
	ML		1	o	2	1	5	2	11	ML		11	o	o	11	3	18	43
	L	4	294	136	102	445	37	460	1474	L	24	113	121	130	100	105	71	640
	ML		3	4	o	20	o	14	41	ML		1	1	o	2	1	o	5
	L	5	29	64	383	105	69	144	794	L	25	142	151	166	103	886	380	1228
	ML		o	5	9	2	2	7	25	ML		1	o	1	o	2	16	20
	L	6	86	297	121	68	315	336	1223	L	26	197	210	214	285	93	467	1466
	ML		2	16	2	1	21	23	65	ML		o	3	2	o	2	4	11
	L	7	173	140	186	199	77	714	1489	L	27	236	103	23	271	104	572	1109
	ML		4	8	8	6	1	20	47	ML		8	o	o	3	o	21	32
	L	8	141	89	84	195	61	298	868	L	28	316	145	108	96	164	410	1239
	ML		6	2	1	9	1	12	31	ML		6	3	o	o	o	11	20
	L	9	75	114	289	61	65	707	1311	L	29	148	320	96	46	71	90	771
	ML		o	o	3	1	o	42	46	ML		7	20	1	o	o	5	33
	L	10	114	376	93	42	28	193	846	L	30	114	92	98	144	146	311	905
	ML		1	1	o	o	o	o	2	ML		2	1	o	o	o	18	21
Summe der L =	SL	1-10	1406	1415	1842	1575	951	4609	11798	SL	21-30	1945	1793	1285	1718	1204	2809	10754
Summe der ML =	SML		22	39	30	51	33	165	340	SML		48	35	5	13	8	101	215
	L	11	193	208	289	461	49	82	1282	L	31	75	172	108	89	136	76	656
	ML		o	6	1	38	2	o	47	ML		1	o	3	o	1	1	6
	L	12	256	274	369	830	56	715	2500	L	32	184	266	109	68	85	407	1119
	ML		o	1	o	o	1	8	10	ML		o	1	o	o	2	1	4
	L	13	159	160	120	384	26	666	1515	L	33	81	72	146	126	84	195	704
	ML		o	1	o	1	o	23	25	ML		o	1	4	6	o	15	26
	L	14	105	142	165	127	49	720	1508	L	34	271	140	190	229	116	1134	2086
	ML		o	1	o	2	2	41	46	ML		12	3	5	8	o	70	98
	L	15	110	80	275	72	131	368	1036	L	35	69	15	111	173	24	520	912
	ML		o	o	o	1	o	4	5	ML		o	o	o	o	o	10	10
	L	16	118	61	84	138	103	712	1216	L	36	131	34	24	223	114	569	1095
	ML		2	o	o	1	o	31	34	ML		4	o	o	2	o	24	30
	L	17	47	76	195	81	82	291	772	L	37	69	134	126	43	74	465	961
	ML		o	1	1	o	o	o	2	ML		o	6	5	o	2	25	38
	L	18	173	104	142	123	104	306	952	L	38	54	114	182	142	114	625	1231
	ML		4	o	o	2	3	11	20	ML		o	1	5	1	3	13	23
	L	19	149	42	170	52	120	263	804	L	39	144	81	47	122	37	352	783
	ML		o	o	1	o	2	2	5	ML		o	o	o	o	o	1	1
	L	20	288	99	83	547	37	883	1937	L	40	84	163	135	110	23	359	874
	ML		4	o	2	3	o	11	20	ML		1	9	1	3	o	1	15
	SL	11-20	1598	1246	1892	2815	765	5006	13322	SL	31-40	1162	1241	1184	1325	807	4702	10421
	SML		10	10	5	48	10	131	214	SML		13	21	25	20	8	161	251

OBERFLÄCHENPOROSITÄTEN, PRO SERIE AUFADDIERT



LISTE DER TIEFENLUNKERWERTE, GEWONNEN MIT RASTER- UND STRICHPLATTENVERFAHREN

Tab. 4

Gußnr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	11.	12.
	1	124	112	52	42	95	48	178	51	702
ML→	3o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
SP→	15	11	13	7	12	7	22	2	87	
	2	15o	129	97	83	79	139	888	135	17oo
		o	o	5	o	3	1	28	1	38
		16	4	25	2	36	1o	61	6	16o
	3	42	197	61	21	1o7	156	225	66	875
		o	1	3	o	o	2	13	2	21
		8	6	8	2	14	8	35	4	85
	4	48	69	5o	26	56	28	33	39	349
		1	o	o	o	o	o	o	1	2
		2	3	16	4	4	3	15	17	64
	5	125	19	226	76	178	54	621	62	1361
		o	o	4	1	2	1	32	o	39
		14	2	27	3	19	2	32	1o	1o9
1-5		489	526	486	248	515	425	845	353	4987
		1	1	12	1	5	3	73	4	1oo
		53	26	89	18	85	3o	165	39	5o5
	11	174	373	27	48	19	32	15	2o	7o8
		o	11	o	o	o	o	o	o	11
		1o	11	5	1	6	2	4	11	5o
	12	235	27	32	3o	9	35	24	15	4o7
		o	o	o	o	o	o	1	o	1
		38	2	3	3	2	5	2	7	62
	13	1o4	32	129	45	131	56	134	152	783
		o	o	1	1	o	1	3	4	1o
		21	11	1o	8	23	15	14	11	113
	14	174	243	148	49	15	55	8	25	717
		1	1o	8	o	o	o	o	o	19
		21	8	5	13	1	3	1	6	58
	15	48	4o	6o	46	15	52	12	6	339
		o	o	o	o	o	o	o	o	o
		1	2	4	4	4	4	4	3	26
11-15		735	715	396	218	189	23o	193	278	2954
		1	21	9	1	o	1	4	4	41
		91	34	27	29	36	29	25	38	3o9
	6	47o	212	77o	72	298	44	99	62	2o27
		25	15	3o	o	15	1	o	2	88
		27	7	45	15	29	4	17	3	145
	7	b49	21	21o	9o	173	173	192	173	1981
		1o	o	2	3	2	11	o	8	36
		1o9	9	17	9	9	4	7	1o	174
	8	63	64	61	116	79	57	27	136	6o2
		1	o	o	o	o	o	o	2	3
		16	2o	14	15	8	9	1o	16	1o8
	9	39	34	11o	75	75	51	2o8	136	728
		o	o	1	o	o	o	4	4	o5
		6	5	11	3	9	9	34	5	82
	1o	839	63	133	15o	172	12o	253	1o1	1991
		8	o	5	6	7	3	o	4	33
		14	7	1o	4	16	3	33	15	1o2
-1o		82o	394	283	5o3	797	445	679	6o8	6529
		44	15	38	9	24	15	4	16	165
		172	48	95	46	71	29	1o1	49	619
	16	525	39	26o	32o	276	256	155	263	3o96
		71	1	6	o	5	o	2	o	85
		88	5	23	35	1o	17	13	7	198
	17	684	54	86	39	127	84	16o	111	1345
		2	o	3	o	2	1	6	o	14
		77	3	3	4	9	2	6	2	1o6
	18	285	68	98	93	175	148	94	76	1o37
		13	2	o	o	3	o	o	o	18
		17	11	3	9	6	3	3	6	59
	19	978	77	162	286	193	146	27	98	1967
		32	o	1	o	4	o	o	o	37
		1o9	5	6	23	6	4	3	9	165
	2o	632	61	269	232	321	335	36o	682	2892
		2	o	16	o	12	13	9	41	93
		85	45	11	7	17	19	15	21	22o
-2o		4to4	299	875	97o	1o92	969	796	1232	1o337
		12o	3	26	o	26	14	17	41	247
		376	7o	46	78	48	45	4o	45	748

Gußnr.										
21	222	616	122	475	154	272	27o	22o	2351	
	14	o	4	2	3	2	8	o	33	
	32	32	14	18	22	18	34	15	185	
22	3o	373	4o	116	63	14o	48	176	988	
	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	24	29	11	8	18	4	7	11	112	
23	138	3o6	157	359	156	335	125	86	1662	
	3	2	3	14	7	7	2	o	38	
	14	1oo	7	1o	11	13	6	24	95	
24	7o	3o7	88	82	34	157	163	121	1o24	
	8	8	o	o	o	2	3	o	13	
	3o	28	11	1o	1o	7	8	18	122	
25	15	1o6	78	233	133	72	131	138	9o6	
	8	o	o	1o	3	o	2	2	17	
	3	7	27	3	18	9	18	1o	97	
21-25		475	1o8	485	267	54o	976	739	741	6931
		17	1o	7	26	13	11	15	2	1o1
		1o3	1o6	7o	51	79	51	73	78	611
31	96	149	181	97	176	77	177	134	1o87	
	3	4	4	o	9	o	4	4	28	
	18	4	21	12	26	4	58	3	146	
32	13	24	7	18	99	38	32	3o	261	
	o	o	o	o	8	o	o	o	8	
	6	9	11	18	8	8	1o	16	86	
33	13	138	239	1oo	2o3	54	233	46	1o26	
	a	3	o	5	5	o	3	o	16	
	1	17	41	13	2o	12	34	14	152	
34	162	222	418	2o8	469	319	589	94	2481	
	4	6	24	9	29	21	36	3	132	
	2o	33	22	18	18	2o	17	24	172	
35	175	89	113	36	155	239	236	55	1o98	
	o	o	o	o	2	12	o	1	15	
	28	23	4	1o	8	11	28	3o	142	
31-35		459	622	958	459	1to2	727	267	359	5953
		7	13	28	14	53	33	43	8	199
		73	86	99	71	8o	55	147	87	698
	26	553	212	28	117	18	71	29	62	1o9o
		1	o	o	o	o	o	o	o	1
		118	o	7	5	6	5	3	1o	154
	27	544	321	2o7	46	93	1o1	7o	163	1545
		24	1	12	o	2	o	1	o	4o
		49	37	13	19	8	3o	3	31	19o
	28	b61	49	24	31	27	3o	18	18	1258
		5	o	o	o	o	o	o	o	5
		143	8	9	14	5	15	1o	16	22o
	29	161	143	85	119	62	52	6o	64	746
		9	o	2	2	2	1	o	1	17
		33	15	26	25	3	1o	12	8	142
	3o	382	115	14o	286	86	118	98	92	1317
		15	1	5	7	o	3	7	o	38
		42	19	24	34	7	15	o	17	158
-3o		2o1	841	484	598	286	372	275	399	5956
		54	2	19	9	4	4	8	1	1o1
		385	79	79	98	29	84	28	82	864
	36	b43	24	4o	14	22	13	47	2	12o5
		29	o	o	o	o	o	o	o	29
		92	4	9	6	1o	1o	22	12	165
	37	8oo	83	56	19	7	55	7	73	1100
		35	o	2	o	o	o	o	2	39
		54	9	12	8	14	13	15	9	134
	38	511	29	4o	25	39	26	8	24	71o
		17	o	1	o	o	o	o	o	18
		51	6	16	5	12	15	1o	19	134
	39	218	29	43	2o	18	24	11	33	396
		1	o	o	o	o	o	o	o	1
		49	18	15	9	11	8	7	14	131
	4o	368	17	96	44	11	31	1o	17	594
		5	o	1	o	o	o	o	o	6
		48	9	11	7	22	1	12	5	115
-4o		94o	182	283	122	97	149	83	149	4oo5
		87	o	4	o	o	o	o	2	93
		294	46	63	35	69	47	66	59	679

Tab. 5

ÜBERSICHT DER ERGEBNISSE (Dichteprüfung, Raster-Strichplattenverfahren)

Nr. des Gußwürfels	D = Dichte	OL = Oberflächenlunker	OML = O.fl.makrolunker	VEO = Volumeneinheit d. Oberflächenlunker =OMLx10³ + OL - OMLx10	TL = Tiefenlunker	TML = Tiefenmakrolunker	VET = Volumeneinheit d. Tiefenlunker =TMLx10³ + TL - TMLx10	SP = Treffer der Strichplatte
1	14,27	1327	47	47 857	7o2	o	7o2	87
2	14,19	1151	25	25 9o1	17oo	38	39 32o	16o
3	14,17	1315	11	12 2o5	875	21	21 665	85
4	14,2o	1474	41	42 o64	349	2	2 529	64
5	15,oo	794	25	25 544	1361	39	39 971	1o9
6	15,14	1223	65	65 573	2o27	88	89 147	145
7	14,2o	1489	47	48 o19	1981	36	37 621	174
8	14,1o	868	31	31 558	6o2	3	3 572	1o8
9	14,o5	1311	46	46 851	728	5	5 678	82
1o	15,55	846	2	2 826	1191	33	33 861	1o2
11	14,oo	1282	47	47 812	7o8	11	11 598	5o
12	14,31	25oo	1o	12 4oo	4o7	1	1 397	62
13	14,36	1515	25	26 265	783	1o	1o 683	113
14	14,14	13o8	46	46 848	717	19	19 527	58
15	15,25	1o36	5	5 986	339	o	339	26
16	14,o7	1216	34	34 876	3o96	85	87 246	198
17	14,71	772	2	2 752	1345	14	15 2o5	1o6
18	14,11	952	2o	2o 752	1o37	18	18 857	58
19	14,11	8o4	5	5 754	1967	37	38 597	165
2o	14,43	1937	2o	21 737	2892	93	94 962	22o
21	14,o5	1354	16	17 194	2351	33	35 o21	185
22	14,47	839	14	14 699	988	o	988	112
23	14,25	12o3	43	43 773	1662	38	39 282	95
24	14,14	64o	5	5 59o	1o24	13	13 894	122
25	14,3o	1228	2o	21 o28	9o6	17	17 736	97
26	14,17	1466	11	12 356	1o9o	1	2 o8o	154
27	14,15	11o9	32	32 789	1545	4o	41 145	19o
28	14,32	1239	2o	21 o39	1258	5	6 2o8	22o
29	14,12	771	33	33 441	746	17	17 576	142
3o	13,96	9o5	21	21 695	1317	38	38 937	158
31	13,82	656	6	6 596	1o87	28	28 8o7	146
32	15,22	1119	4	5 o79	261	8	8 181	86
33	14,o4	7o4	26	26 444	1o26	16	16 866	152
34	13,75	2o86	98	99 1o6	2481	132	133 161	172
35	14,2o	912	1o	1o 812	1o98	15	15 948	142
36	14,29	1o95	3o	3o 795	12o5	29	29 915	165
37	13,91	961	38	38 581	11oo	39	39 71o	134
38	14,81	1231	23	24 oo1	71o	18	18 53o	134
39	15,11	783	1	1 773	396	1	1 386	131
4o	15,o7	874	15	15 724	594	6	6 534	115

ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN ANALYSE DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN DER DICHTE UND DEN ERGEBNISSEN DES RASTER- UND DES STRICHPLATTENVERFAHRENS

	$\bar{x}$	$\bar{y}$(Dichte)	Sx^2	Sy^2(Dichte)	Sxy
OL-D	1,157375	14,36275	59,476795	8259,0539	663,6906
TL-D	1,191300	14,36275	75,000688	8259,0539	681,4804
VEO-D	2,6402375	14,36275	429,8907	8259,0539	1504,7458
VET-D	2,7104550	14,36275	623,7008	8259,0539	1549,7150
SP-D	1,25625	14,36275	71,7564	8259,0539	719,7265

	a	b	r
OL-D	14,6048	-0,20910	-0,1853
TL-D	14,5544	-0,16088	-0,2507
VEO-D	14,5742	-0,08008	-0,3591
VET-D	14,4241	-0,02264	-0,1500
SP-D	14,6550	-0,23264	-0,2494

Es bedeutet:

OL-D: Oberflächenlunker in Korrelation zur Dichte

TL-D: Tiefenlunker in Korrelation zur Dichte

VEO-D: Volumeneinheit der Oberflächenlunker in Korrelation zur Dichte

VET-D: Volumeneinheit der Tiefenlunker in Korrelation zur Dichte

SP-D: Ergebnisse des Strichplattenverfahrens in Korrelation zur Dichte

$\bar{x}$: Mittelwerte von OL, TL, VEO, VET, SP

$\bar{y}$: Mittelwert der Dichte

Sx^2, Sy^2, Sxy: Summen (Sigma) von x^2, y^2, xy

a: Achsenabschnitt

b: Steigung = Regressionskoeffizient

r: Korrelationskoeffizient

Um vergleichbare Größenverhältnisse von Ordinate und Abszisse zu erhalten, wurden die Werte der x-Achse durch folgende Faktoren dividiert:

SP : 100
OL/TL : 1000
VEO/VET : 10 000

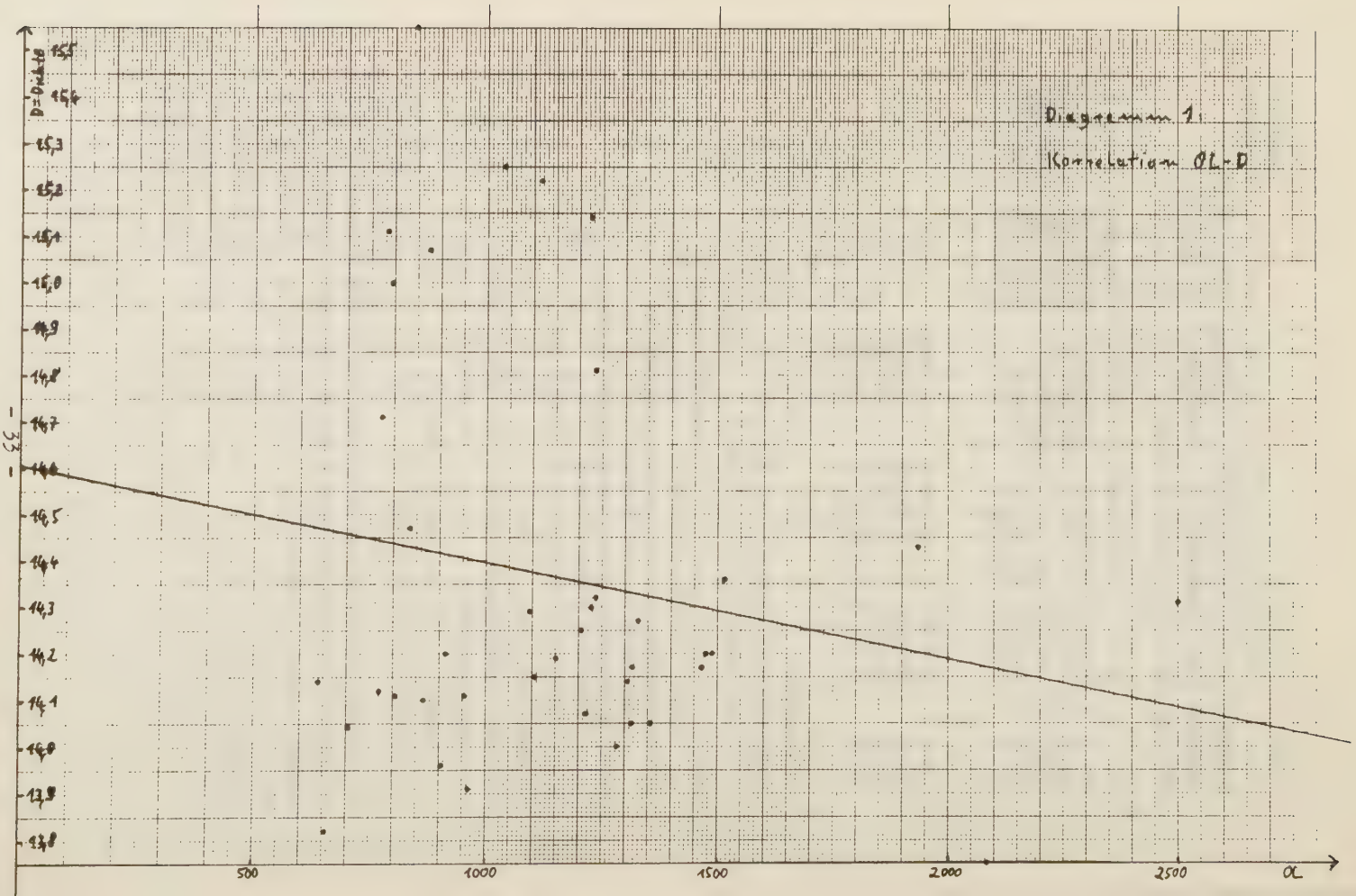


Diagramm 1
Korrelation OL-D
D = Dichte
15,5
15,4
15,3
15,2
15,1
15,0
14,9
14,8
14,7
14,6
14,5
14,4
14,3
14,2
14,1
14,0
13,9
13,8
500
1000
1500
2000
2500
OL

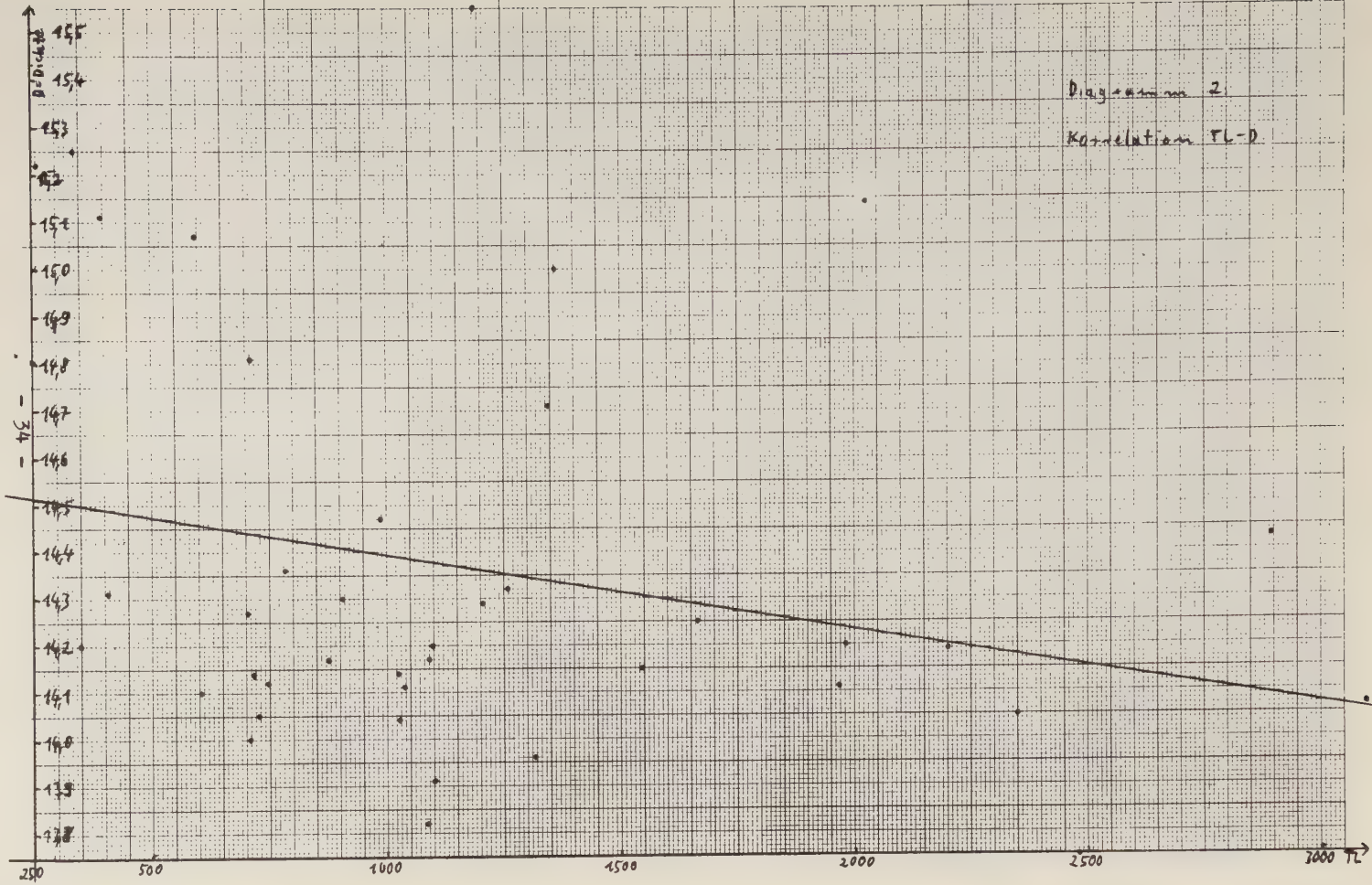


Diagramm 2
Korrelation TL-D
D=Dichte
TL
155
154
153
152
151
150
149
148
147
146
145
144
143
142
141
140
139
138
250
500
1000
1500
2000
2500
3000

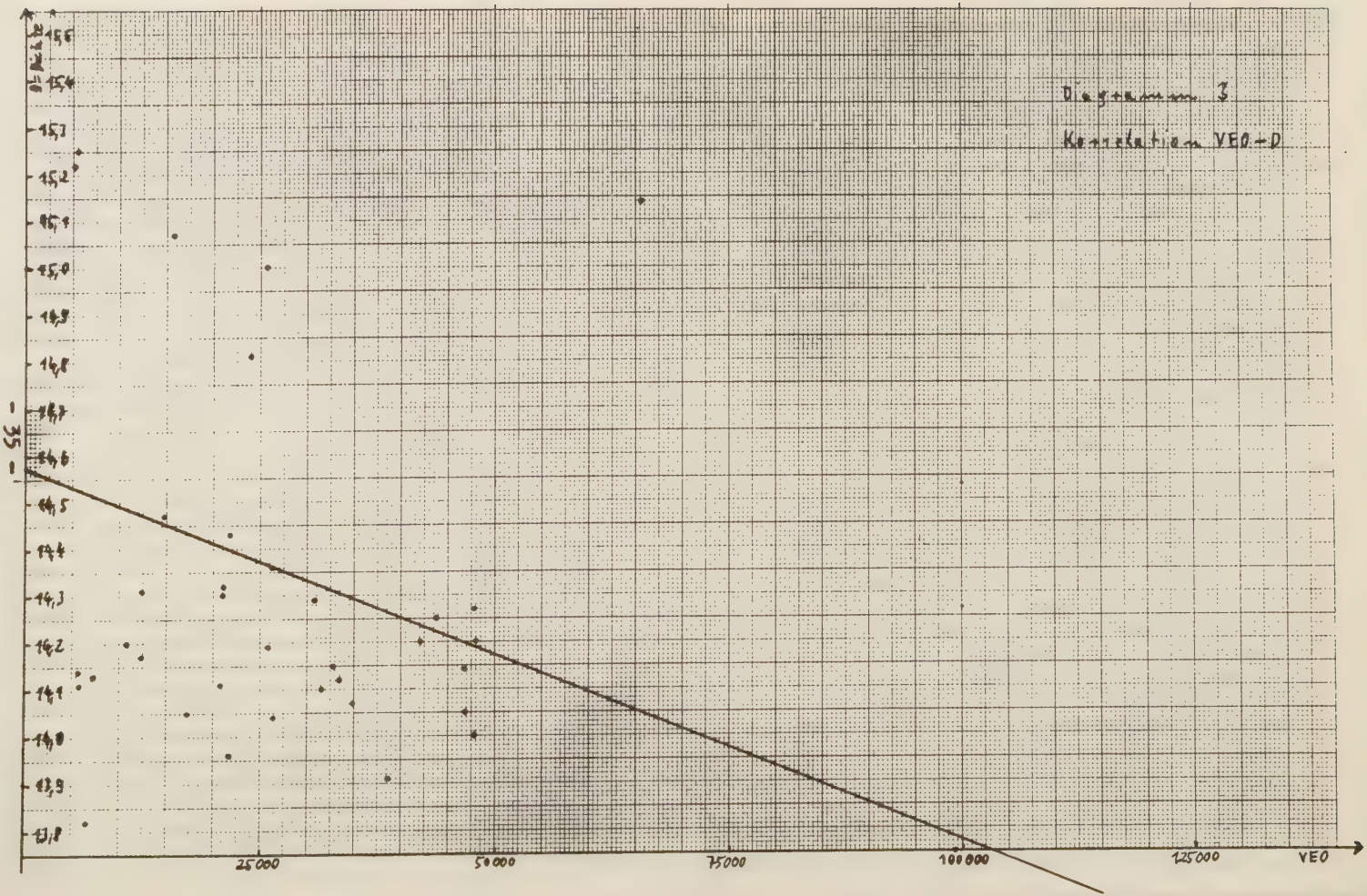


Diagramm 3
Korrelation VEO-D
- 35 -
15,6
15,4
15,3
15,2
15,1
15,0
14,9
14,8
14,7
14,6
14,5
14,4
14,3
14,2
14,1
14,0
13,9
13,8
25000
50000
75000
100000
125000
VEO

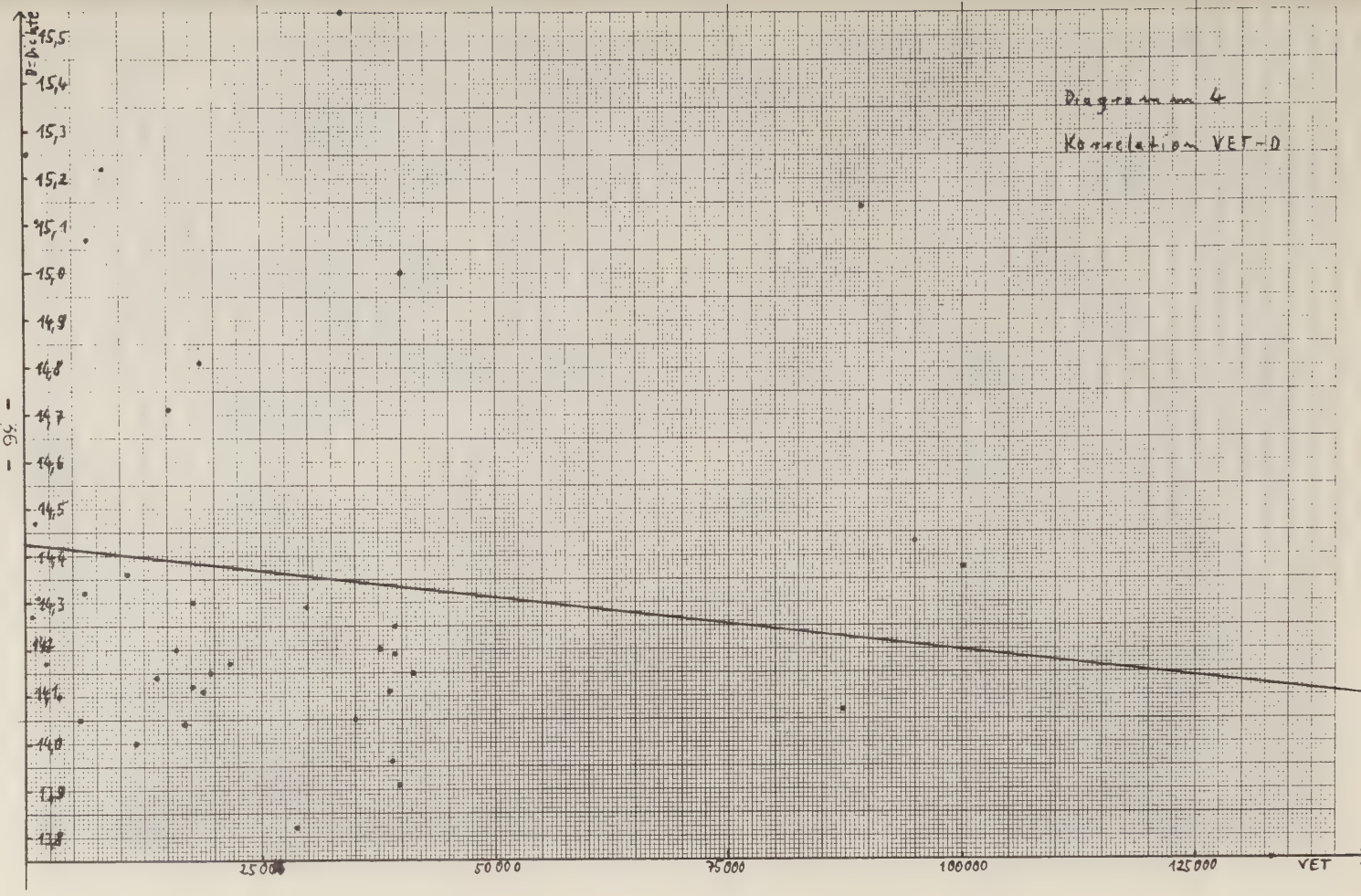
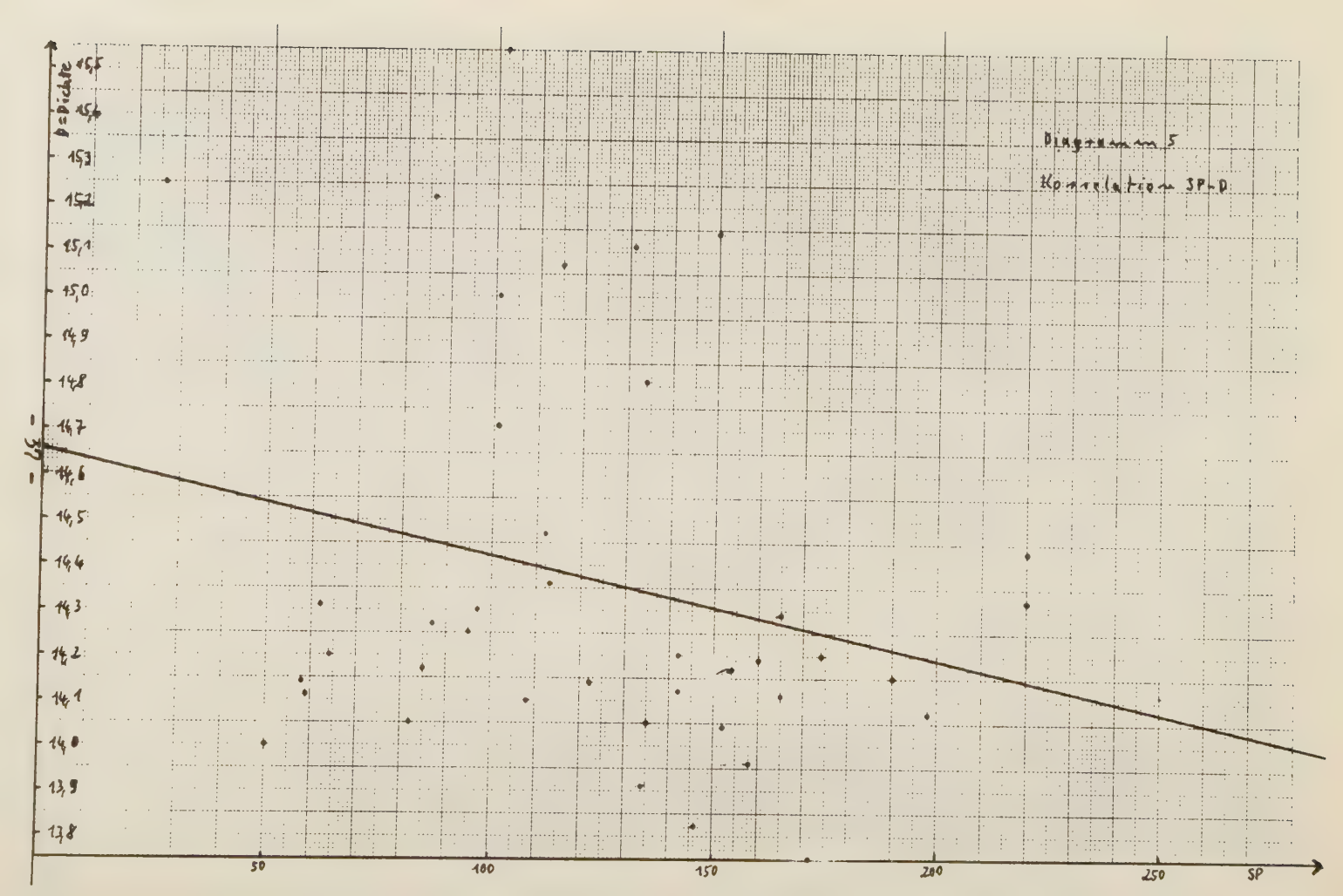


Diagramm 4
Korrelation VET-D
D=d+10
15,5
15,4
15,3
15,2
15,1
15,0
14,9
14,8
14,7
14,6
14,5
14,4
14,3
14,2
14,1
14,0
13,9
13,8
25000
50000
75000
100000
125000
VET


D=Dichte
15,5
15,4
15,3
15,2
15,1
15,0
14,9
14,8
14,7
14,6
14,5
14,4
14,3
14,2
14,1
14,0
13,9
13,8
50
100
150
200
250
SP
Diagramm 5
Korrelation SP-D

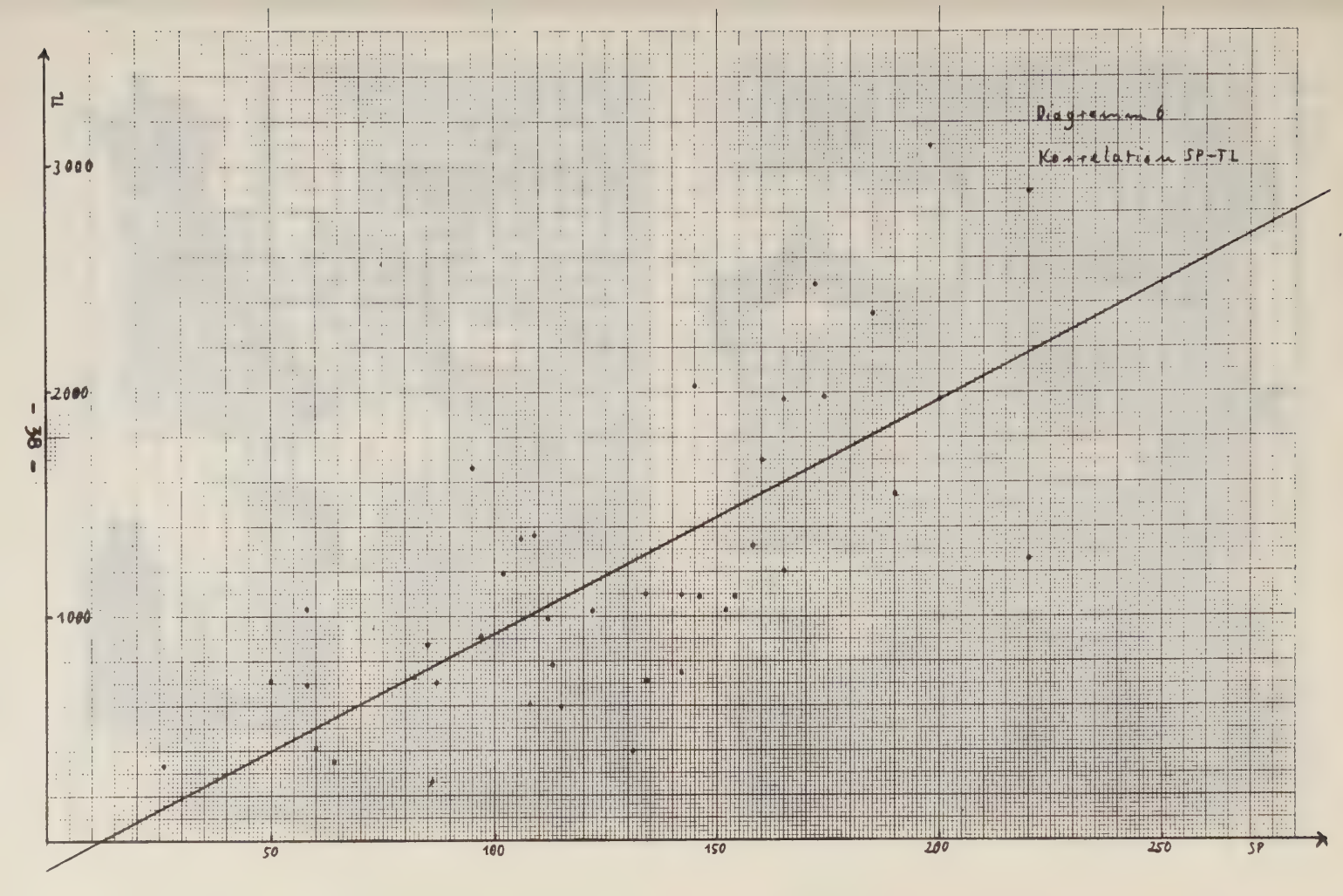


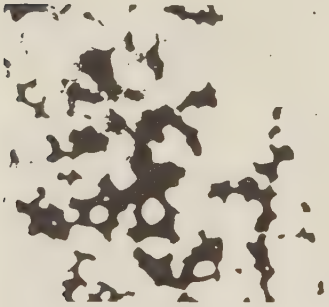
Diagramm 6

Korrelation SP-TL

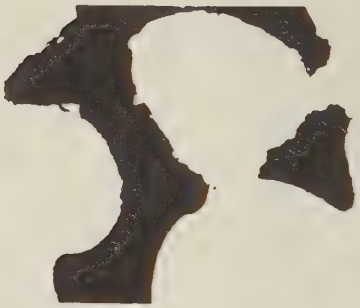
Lunkeraufnahmen in verschiedenen Vergrößerungen Abb. 6

1 : 50

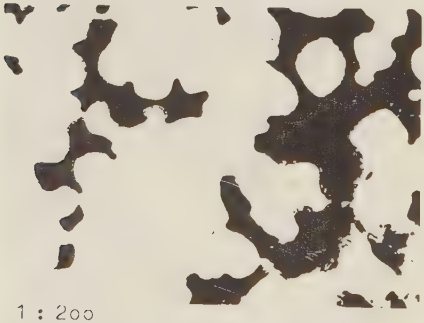
1 : 1 000



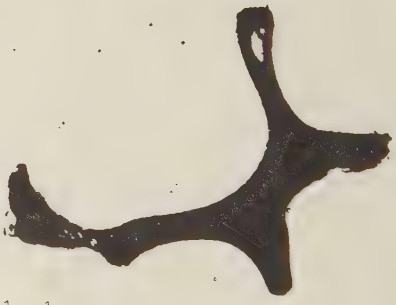
1 : 100



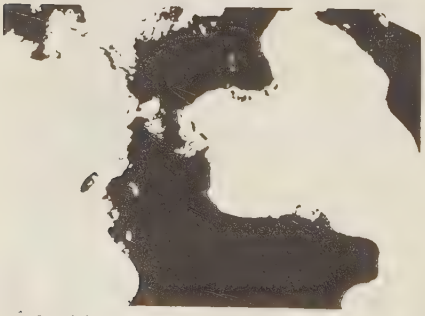
1 : 1 000



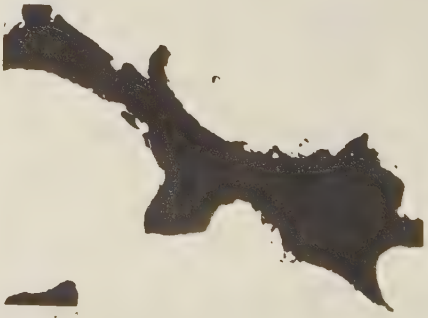
1 : 200



1 : 1 000

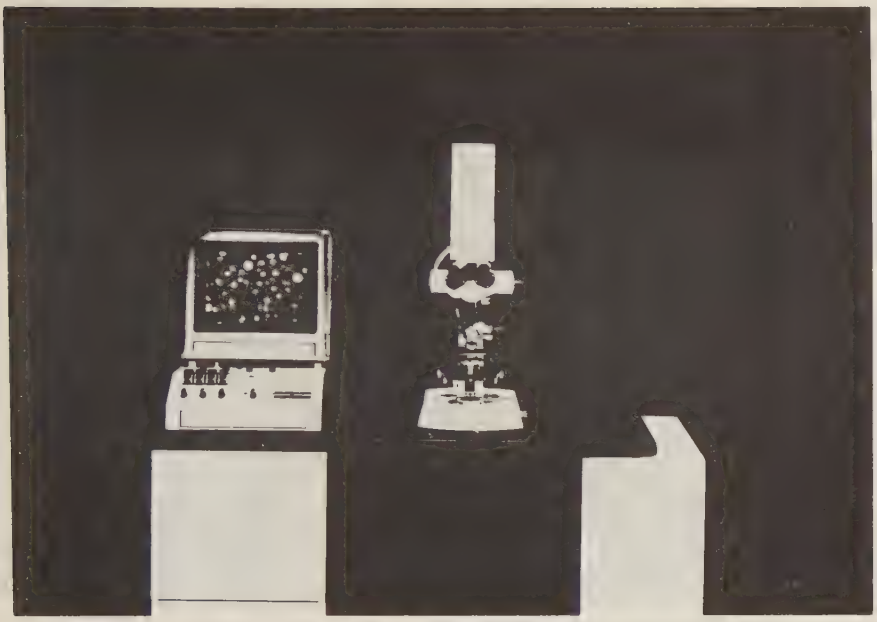


1 : 500

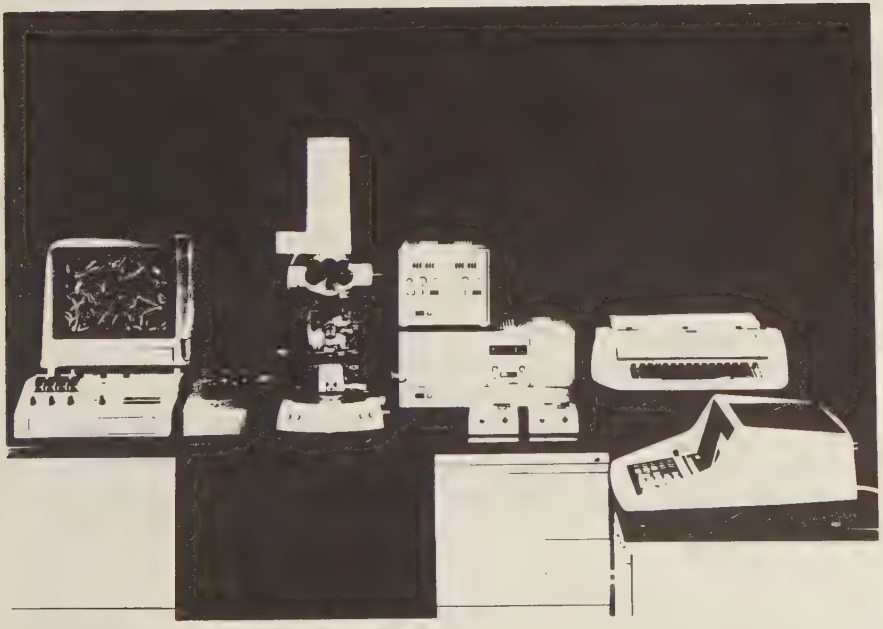


Micro-Videomat

Abb. 7



ZEISS-Micro-Videomat mit Mikroskop, Kamera und Monitor

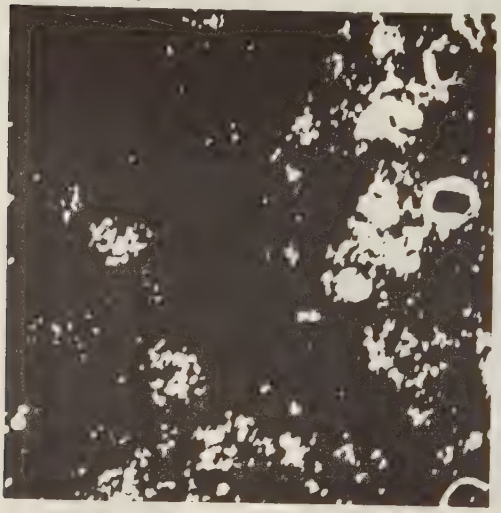


ZEISS-Micro-Videomat mit Mikroskop, Kamera, Monitor sowie Scanning-Tisch mit Steuergerät, Recheneinheiten und Schnelldrucker

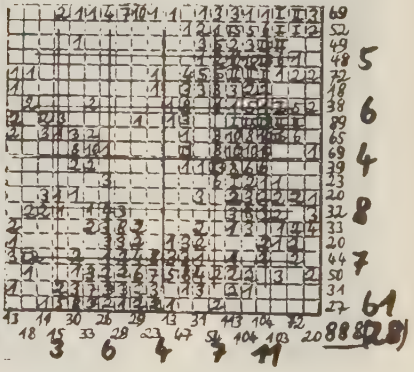
Vergleich der Auswertverfahren
anhand der 7 Ebene des 2. Gusses

Abb. 8

Sichtprüfung



Raster- und Strichplattenverfahren



Mikro-Videomat

Quantimet

Meßfeld:
l = 2270 my
b = 1630 my
F = 3700100qmy
Felder: 3 x 4

k	A ‰	qmy
1	17	63618
2	59	218276
3	416	1539270
4	27	98718
5	50	183542
6	403	1491739
7	65	238751
8	16	57768
9	243	899431
10	64	235460
11	140	519183
12	107	394872
12	134±143	495052

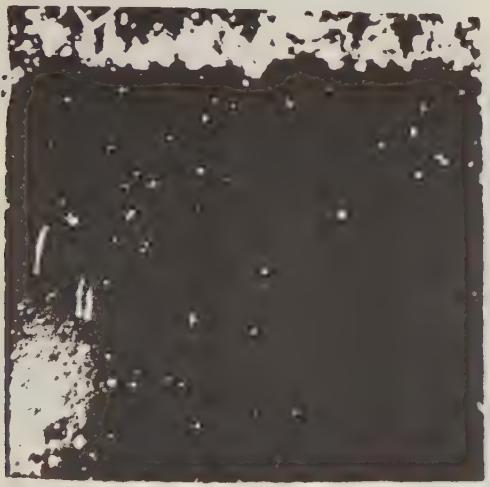
1,88 4,18 74,6 242, 71,2 41,4 267, 157, 462,
0,72 0,93 2,96 1,27 0,68 92,4 378, 498, 382,
1,29 1,82 0,00 0,00 0,00 39,4 328, 716, 226,
0,45 0,00 2,57 0,17 2,23 164, 658, 608, 66,6
4,06 0,88 30,2 1,17 12,6 163, 317, 273, 29,8
5,68 20,7 14,3 0,53 11,4 92,4 323, 478, 448,
34,6 78,8 64,6 1,32 1,57 0,67 436, 604, 522,
0,29 85,4 233, 2,09 0,13 54,3 542, 486, 35,4
0,17 0,00 51,4 9,54 0,00 22,3 548, 88,8 12,3
27,2 26,3 0,66 0,00 6,12 12,7 121, 120, 142,
21,2 29,7 30,3 376, 6,06 7,42 103, 394, 171,
14,9 0,82 166, 233, 37,4 57,6 2,67 106, 34,6
154, 52,8 32,7 165, 198, 116, 20,3 40,0 157,
16,5 54,0 167, 187, 148, 159, 170, 29,6 28,7
9,30 151, 344, 158, 51,2 27,0 9,80 19,5 112,

Schnitt 123,4

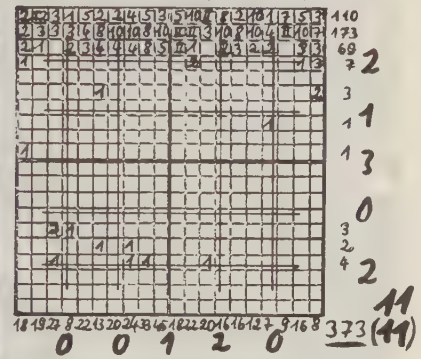
Vergleich der Auswertverfahren anhand der 2. Ebene des 11. Gusses

Abb. 9

Sichtprüfung



Raster- und Strichplattenverfahren



Mikro-Videomat

Meßfeld:
l = 227o my
b = 163o my
F = 37oo1ooqmy
Felder: 3 x 4

k	A ‰	qmy
1	176	65o165
2	249	92o459
3	212	785312
4	6	23961
5	1	42oo
6	2	7232
7	13	48945
8	2	8181
9	1	4931
1o	6	23559
11	8	31339
12	1	4163
12	57±95	2o937o

Quantimet

346,	358,	262,	522,	542,	814,	4o4,	48o,	468,
242,	396,	558,	548,	648,	418,	484,	436,	454,
59,8	12,7	58,6	73,4	157,	6,98	7o,6	5o,8	85,4
o,18	o,42	o,o2	o,o2	o,28	1,73	o,32	o,o2	25,2
3,23	6,76	o,o2	o,98	o,oo	o,o5	o,oo	o,13	18,7
1,27	1,o8	o,o2	1,57	o,o2	1,63	o,77	o,o2	2,37
o,14	2,98	o,oo	2,66	4,o2	1,15	1,22	o,o5	1,13
2,24	5,68	1,22	4,o3	o,oo	4,32	o,11	1,47	1,73
o,22	o,o2	o,12	3,15	2,94	1,36	2,23	1,49	1,o3
9,32	4,24	1,o3	7,3o	o,17	3,68	1,12	o,o6	o,o4
6,48	1o,8	6,o8	o,34	3,98	o,14	o,8o	o,13	o,o2
1,56	1,53	3,52	13,8	o,73	11,7	o,oo	o,oo	o,o4
4,96	9,18	9,16	o,68	1,83	1,72	o,oo	o,oo	o,28
11,3	3,4o	1,34	o,55	3,o7	1,53	o,oo	o,oo	o,o4
7,46	2,o8	3,82	o,36	o,52	o,o2	o,o3	o,o6	o,12

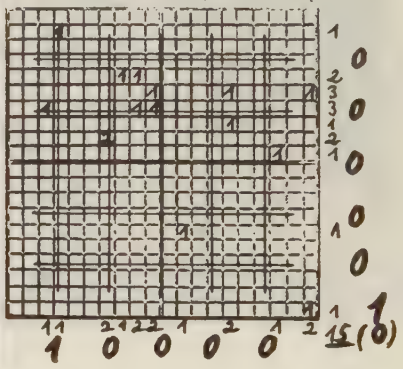
Schnitt 68,3o

Vergleich des Auswertverfahrens anhand des 5. Ebene des 14. Gusses

Abb. 10

Sichtprüfung

Raster- und Strichplattenverfahren



Mikro-Videomat Quantimet

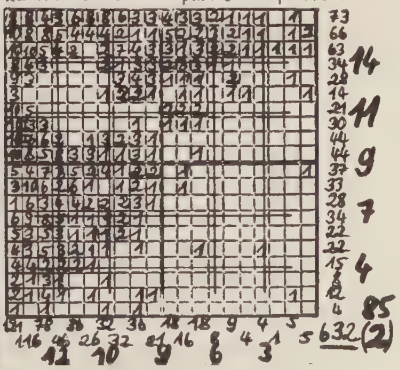
MeBfeld:			6,62	3,22	3,36	0,04	0,03	0,04	0,65	4,76	0,02
l = 227o my			0,92	0,78	1,54	2,88	4,3o	1o,2	1o,7	0,74	0,03
b== 163o my			0,68	2,03	2,72	12,2	3,78	0,85	0,oo	2,53	0,15
F = 37oo1ooqmy			1,75	0,03	7,08	0,12	8,04	9,82	5,54	15,3	0,36
Felder: 3 x 4			3,25	0,36	8,76	16,4	0,08	1,32	18,4	0,03	1o,3
k	A%	qmy	0,08	1,93	6,04	0,14	3,82	3,84	9,32	0,18	0,14
1	15	54o58	1,08	0,32	1o,2	8,26	0,06	0,14	4,26	1,03	0,38
2	15	5698o	0,08	0,14	7,24	0,72	1,17	1,13	12,7	2,68	0,2o
3	7	25495	0,15	2,56	1,04	8,8o	0,64	2,3€	0,45	0,09	1,42
4	7	2418o	0,46	0,25	0,96	0,4o	0,14	2,25	0,15	0,08	0,35
5	14	52232	0,07	1,03	0,75	5,86	0,28	5,78	0,oo	0,03	0,15
6	4	14975	0,02	3,02	0,oo	0,98	0,12	0,26	0,08	0,15	0,26
7	7	25o56	0,08	4,74	0,22	7,2c	0,oo	0,02	0,08	0,02	0,08
8	6	22463	0,6o	0,oo	0,04	0,38	0,14	4,96	0,04	0,15	0,06
9	9	33275	12,8	0,04	0,03	0,03	0,1o	0,05	0,02	0,04	1,35
10	6	21294								Schnitt	2,494
11	6	23595									
12	5	17o21									
12	8±4	3o885									

Vergleich der Auswertverfahren anhand der 1. Ebene der 20. Gussreihe

Abb. 11

Sichtprüfung

Raster- und Strichplattenverfahren



Mikro-Videomat — Quantimet

Meßfeld:
l = 227o my
b = 163o my
F = 37oo1ooqmy
Felder: 3 x 4

k	A%	qmy
1	295	1o92132
2	246	9o95e1
3	116	431oo8
4	213	788965
5	112	412745
6	22	8o357
7	411	1519488
8	116	431oo8
9	7	26oo6
1o	284	1o51953
11	27	1oo446
12	3	1o446
12	154±134	571171

54o,	316,	46e,	422,	192,	298,	232,	9o,4	2,14	
556,	288,	158,	262,	263,	164,	21e,	87,4	5,12	
412,	93,2	76,o	242,	162,	262,	2o2,	52,4	3,46	
263,	12,8	6,o2	193,	153,	15o,	78,2	16,2	6,44	
158,	4,o8	6,22	167,	1o8,	88,6	43,2	6,18	7,32	
572,	45,6	1,27	22,7	95,6	192,	228,	1,34	o,36	
678,	272,	256,	173,	79,6	41,4	5,76	1,73	o,78	
452,	46o,	286,	183,	118,	39,6	3,13	1,o2	1,48	
456,	442,	275,	143,	122,	3o,3	2,72	o,o8	o,88	
478,	458,	235,	252,	143,	1o88	3,46	2,73	o,65	
54o,	524,	233,	136,	37,6	18,6	2,38	o,o4	o,o8	
392,	372,	2o8,	69,6	9,24	4,98	3,82	o,o8	o,15	
3o6,	172,	87,6	8,64	4,o2	o,55	1,27	o,o5	o,o2	
272,	138,	25,2	2,62	o,o2	o,o7	o,oo	o,o4	o,2o	
8o,6	5o,o	7,86	4,68	4,54	o,33	o,63	o,oo	o,17	

Schnitt ·137,1

G. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Angesichts der Möglichkeiten des Micro-Videomat ist der Quantimet nicht mehr zeitgemäß. Während beim Micro-Videomat nach erfolgter Programmierung der gesamte Meßvorgang einer Ebene ca. 3 Minuten in Anspruch nimmt und völlig automatisch abläuft, so erfordert die Messung mit dem Quantimet ca. 45 Minuten; nach erfolgter Einstellung einer Einzelfläche muß erst der zuständige Meßbereich gefunden werden, bevor der Wert abgelesen und notiert werden kann. Ferner muß ein extremer Hochglanz erreicht werden, denn der kleinste Kratzer und auch jedes Staubkorn werden mitgezählt. Beim Micro-Videomat ist es durch bessere Möglichkeiten der Kontrastierung zu erreichen, daß kleinste Kratzer eliminiert werden können. Der Micro-Videomat erlaubt weit mehr Möglichkeiten der Auswertung und Hochrechnung (z.B. durchschnittliche Korngröße, Volumenprozentanteile, Selektion ausgewählter Strukturen usw). Er scheint auch in seinen Ergebnissen wesentlich genauer zu sein. So ist beim Quantimet zu beobachten, daß der Skalenzeiger während der Messung oft in starker Bewegung ist, so daß ein fester Wert nur geschätzt werden kann. Das Gerät kann sich bei Strukturen an der Kontrastschwelle nicht entscheiden. Diese Strukturen imponieren durch starkes Flimmern auf dem Monitor. Das Einstellen des Kontrasts ist überdies sehr problematisch, wie aus dem Vergleich der 5. Ebene des 14. Gusses hervorgeht. Auch bei gleicher Kontrastierung führen wiederholte Messungen gleicher Strukturen zu abweichenden Ergebnissen, doch liegen die Toleranzen beim Micro-Videomat wesentlich niedriger. ZEISS gibt einen Fehler von 1% an. Der Micro-Videomat eignet sich hervorragend zum minutiösen Auswerten kleinster, klar abgegrenzter

Strukturen; so kann der Scanning-Tisch in Schritten von 0,5 my vollautomatisch weiterbewegt werden. Ist entsprechend programmiert, können stundenlange Meßprogramme vollautomatisch durchgeführt werden. Störend ist lediglich, daß vor jeder neuen Auswertung die Programmierung wiederholt werden muß. Dies ist eine Frage der Weiterentwicklung der Software, die noch sehr viele Möglichkeiten offen läßt.

Im Gegensatz hierzu erscheinen die mit dem Auge durchgeführten Raster- und Integrationsmethoden "mittelalterlich". Doch haben auch sie ihre Vorzüge. Steht ein Gerät in der Art des Micro-Videomat nicht zur Verfügung, so sind mit dem Rasterverfahren doch sehr differenzierte Ergebnisse zu erwarten. Voraussetzung ist allerdings, daß die Möglichkeiten voll ausgeschöpft werden, so z.B. Verwendung möglichst vieler der 400 Einzelfelder oder Abstufung der Lunkergrößen. Eine solche Auswertung ist jedoch recht mühsam und zeitraubend. Ein Mitschreibender, dem diktiert wird, ist unbedingt erforderlich. Bei beiden ist ein sehr hohes Maß an Konzentration vonnöten. Auch das Auge kann sehr schnell ermüden. Es besteht die Gefahr, daß die "Lunkerschwelle" sich laufend ändert. Bei der 13fachen Vergrößerung sind so viele Lunker zu sehen, daß man sich auf eine Grenze festlegen muß. Diese Grenze ist sicher subjektiven Schwankungen unterworfen. So neigt man dazu, bei relativ lunkerarmen Ebenen mehr Lunker der gleichen Größe zu sehen als bei lunkerreichen. Wiederholte Auszählungen der gleichen Ebenen ergaben regelmäßig Abweichungen der Anzahl der kleineren, nicht der größeren Lunker. Bei der 6,3fachen Vergrößerung, wie sie zur Auswertung der Oberflächen angewandt wurde, ist die Lunkerschwelle relativ

eindeutig festlegbar: jeder deutlich sichtbare Punkt ist ein Lunker! Deshalb sei eine solche Vergrößerung empfohlen; nur ist bei der üblichen Größe zahnärztlicher Goldgüsse das Raster nicht voll ausnützbar. Kleinere Raster mit noch feinerer Unterteilung könnten verwendet werden. Wenn das Rasterverfahren so konsequent und differenziert angewandt wird, wie hier geschehen, so ist, insbesondere, wenn der Prüfkörper mehrfach zersägt wird, eine so große Datenzahl pro Prüfkörper zu gewinnen (im vorliegenden Fall 3200), daß eine echte räumliche Vorstellung der Porositätenverteilung erreicht werden kann.

Die Integrationsverfahren eignen sich für eine sehr schnelle und problemlose Auswertung, die von einer Person durchgeführt werden kann. Obwohl sie auf einer Zufallserwartung beruhen, liefern sie doch brauchbare Anhaltspunkte zur Beurteilung der Lunkerhäufigkeit. Eine Ortsangabe ist allerdings nicht möglich. Diese Verfahren eignen sich besonders zur Beurteilung geologischer oder metallurgischer Oberflächen, wenn stark zerklüftete Strukturen etwa gleicher Größenordnung gegeneinander abgeschätzt werden sollen.

Der Aussagewert der beiden Verfahren wurde anhand der Dichte statistisch geprüft. Die Dichte ist jedoch selbst nur sehr ungenau festzustellen. Es waren also auch keine gesicherten statistischen Ergebnisse zu erwarten. Bei Auswertung der Oberflächen ist die Zahl der Makrolunker ein besseres Maß für die Beurteilung der Gußqualität, bei Auswertung der (Mikro-)lunker in der Tiefe des Gusses sind diese aussagekräftiger. Die Korrelationskoeffizienten liegen mit -0,1500 bis -0,3591 erwartungsgemäß recht niedrig.

Auffällig ist jedoch, daß die bereits ausführlich verglichenen Werte der Strichplatte und der Tiefenlunker in ihrem Korrelationskoeffizienten zur Dichte nur um o,oo13 abweichen. Das läßt den Schluß zu, daß beide Verfahren in der Genauigkeit sehr ähnlich sind. Die Korrelationsrechnung SP - TL ergibt auch erwartungsgemäß einen hohen Korrelationskoeffizienten von o,7189.

H. ZUSAMMENFASSUNG

Es ist bis heute nicht gelungen, Verfahren zu entwickeln, die einen lunkerfreien zahnärztlichen Goldguß garantieren.

Um diese Porositäten nach verschiedenen Methoden erfassen und auswerten zu können, wurden geeignete Analyseobjekte hergestellt. Es wurden 4o Goldwürfel mit einer Kantenlänge von 8 mm hergestellt. Von jedem Würfel wurde die Dichte ermittelt und alle Oberflächen auf Porositäten untersucht. Anschließend wurden die Würfel dreifach zersägt, so daß 8 auswertbare Ebenen eines jeden Würfels vorlagen. Anhand dieser insgesamt 32o Ebenen wurden die verschiedenen Auswertverfahren untersucht; insbesondere das Raster- und das ZEISSsche Integrationsverfahren.

Es ergab sich:

Die schnellste, aber sehr subjektive Methode ist die Sichtprüfung.

Die Integrationsverfahren (es existieren mehrere Variationen) sind mit geringem Zeitaufwand durchzuführen. Die Ergebnisse repräsentieren den Lunkerbefall recht genau. Qualitative Wertung und Ortsangabe der Lunker sind nicht möglich.

Das Rasterverfahren ist sehr zeitraubend. Neben genauen Zahlenangaben sind qualitative Wertung und Ortsangabe der Lunker möglich.

Geräte wie "Quantimet" und "Micro-Videomat" erfordern einen großen apparativen Aufwand. Die Differenziertheit der Ergebnisse ist eine Frage von Handhabung bzw. Programmierung. Zeitaufwand beim Quantimet nicht vertretbar. In der "Objektivität" dieser Geräte liegt ein gewisser Nachteil: nicht ein Mensch, sondern eine Maschine entscheidet, was ein "Lunker" ist.

I. LITERATURVERZEICHNIS

1. Bartels,F.J. — Der Einfluß der Form der Gußkanäle auf die Verteilung der Porositäten in zahnärztlichen Gußobjekten. Med. Diss., Erlangen 1969

2. Beck,D. — Der Einfluß des Gußkanalansatzes auf den Hohlraumbefall des zahnärztlichen Gusses. Med. Diss., Mainz 1974

3. Bremser,E. — Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der hydro-pneumatischen Heiß=polymerisation nach dem Hedent-Ver=fahren auf Dichte, Abrieb und Härte zahnärztlicher Kunststoffe. Med. Diss., Mainz 1971

4. DIN — Vorschrift 53 479: Bestimmung der Rohdichte. 1954

5. Eickhoff,J. — Der "Kalt-Vakuumdruckguß" in der Zahnheilkunde. Med. Diss., Mainz 1972

6. Frees,W. — Luftdurchlässigkeit von Einbettmassen. Med. Diss., Mainz 1972

7. Fuchs,K.D. — Der Einfluß der Gußapparate auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses. Med. Diss., Mainz 1967

8. Gahm,J. — Geräte und Aufgabenstellungen der "Stereometrischen Analyse". ZEISS-Mitteilungen 5 (1971) 6.-7.Heft

9. Gorski,D. — Untersuchungen über das Dichteverhal=ten von in Druckpolymerisatoren polymerisierten zahnärztlichen Kunst=stoffen. Med. Diss., Mainz 1969

10. Haseloff,O. Hoffmann,H.J. — Kleines Lehrbuch der Statistik. 4. Auflage, Berlin 1970, S. 233

11. Kyselova,J. Kysela,B. Mares,J. — Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1310 (1958)

12. Loebich,O. — Der Lunker und seine Vermeidung. Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1037 (1953)

13. Marx,H. — Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1228 (1967)

14. Schoch,P. Loebich,O. — Die Porosität unserer Amalgamfüllungen. Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 785 (1955)

15. Wagner,E. — Beitrag zum Präzisionsgußverfahren. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1215 (1967)

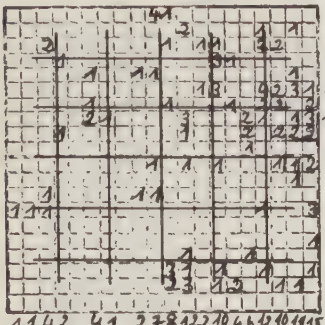
16. Wallis,W.A. Roberts,H.V. — Methoden der Statistik 1. Auflage, Freiburg 1960, S. 445

17. Weikart,P. — Werkstoffkunde für Zahnärzte. München 1966

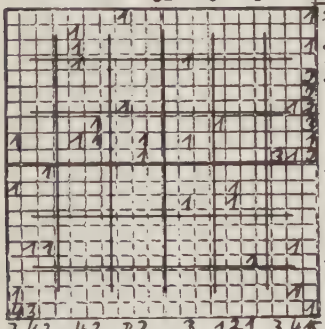
J. ANHANG

	Seite
Lunkerschaubild (Lsb.) von Guß 1	52
Lunkerschaubild (Lsb.) von Guß 2	53
Lunkerschaubild (Lsb.) von Guß 3	54
⋮	
Lunkerschaubild (Lsb.) von Guß 4o	91
Lunkersummenschaubild (Lssb.) Guß 1+...+5	92
Lunkersummenschaubild (Lssb.) Guß 6+...+1o	93
Lunkersummenschaubild (Lssb.) Guß 11+...+15	94
⋮	
Lunkersummenschaubild (Lssb.) Guß 36+...+4o	99

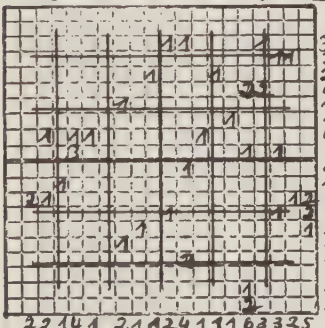
1 3 2 1 0 124(0)



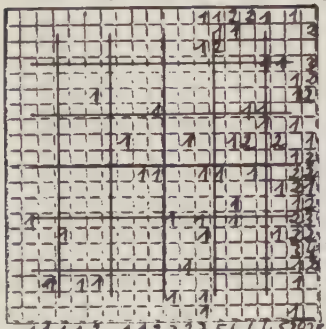
3 0 1 0 2 112(0)



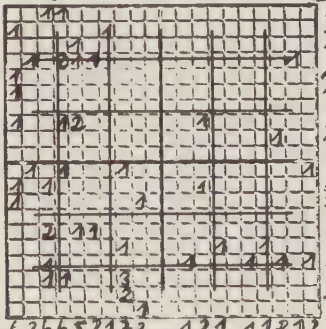
1 1 0 0 1 52(0)



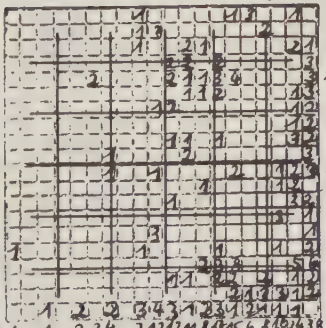
1 0 1 1 2 42(0)



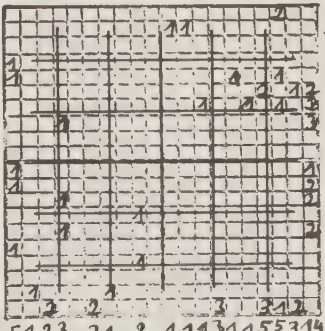
3 2 1 0 1 95(0)



1 2 1 0 1 48(0)



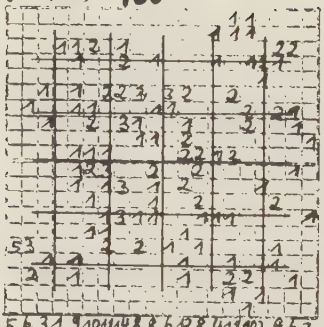
2 2 2 3 5 178(0)



0 1 0 0 0 51(0)

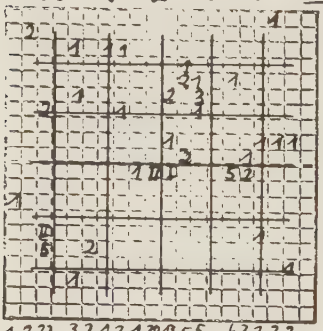
1700 (38) 160

Lunkerschaubild Gaß 2

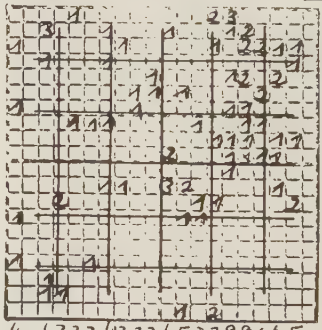


2 1 2 0 3 — 150(0) — 16

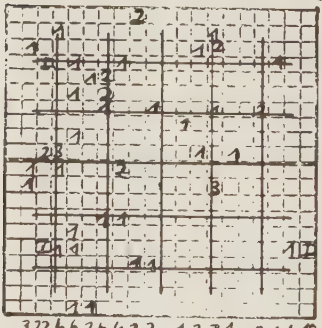
0 1 0 0 0 — 129(0) — 4



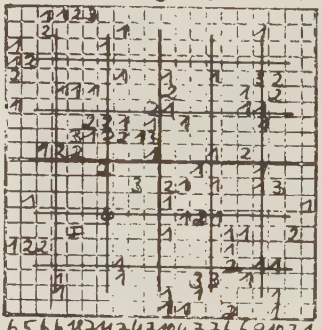
0 3 2 6 1 — 97(5) — 25



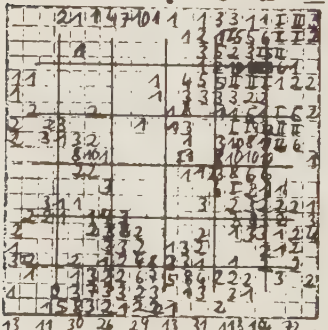
2 0 0 0 0 — 83(0) — 2



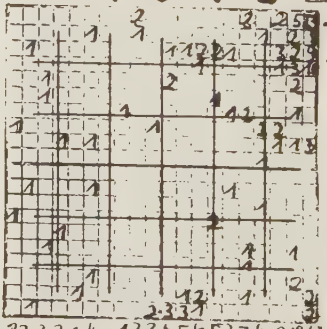
3 8 4 2 2 — 79(3) — 36



2 1 0 1 2 — 139(1) — 10

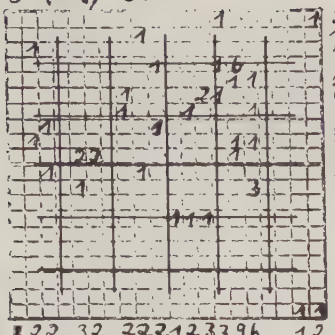


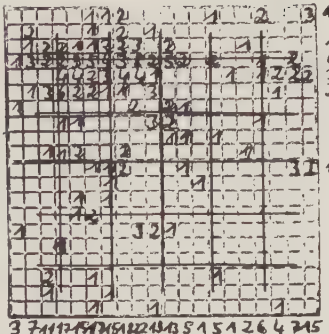
3 6 4 7 11 — 888(28) — 61

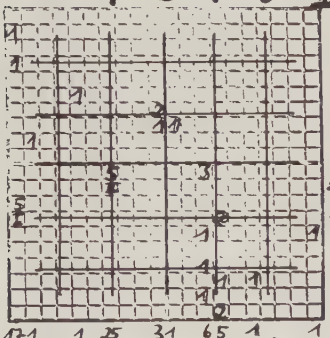


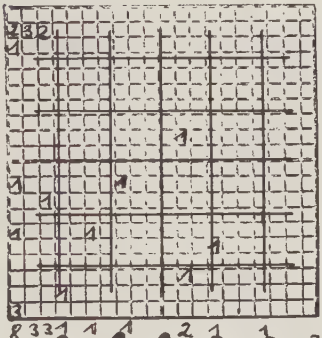
0 1 0 2 1 — 135(1) — 6

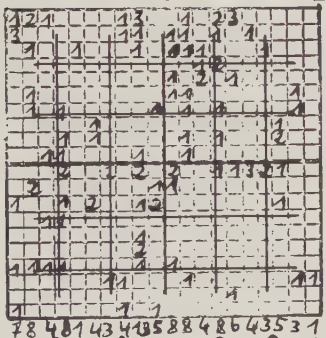
875 (21) 85 Lumkenschaubild 90 3

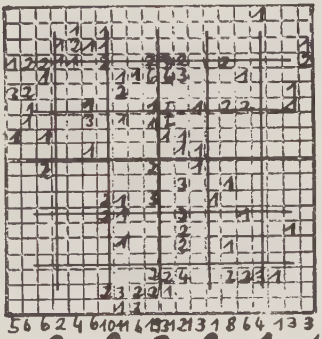


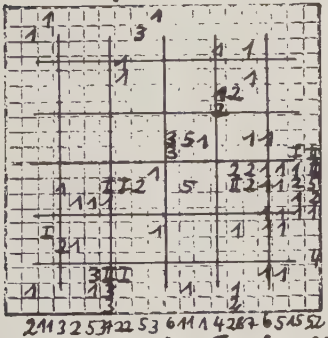


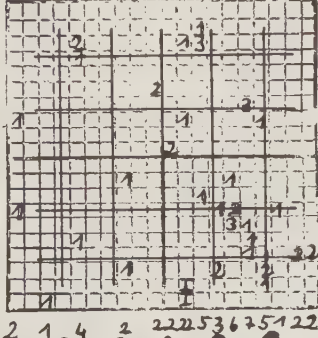






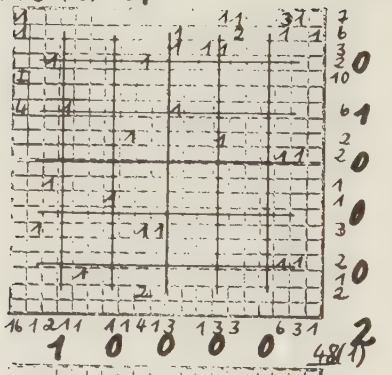


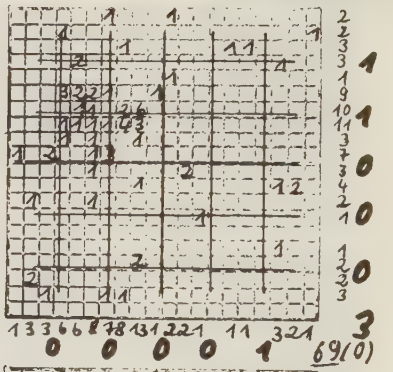


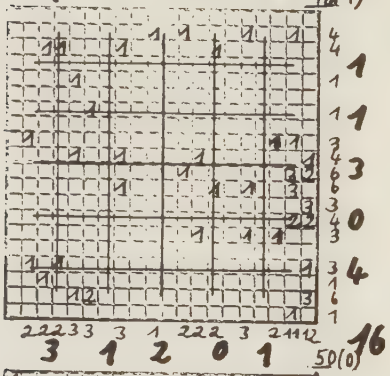


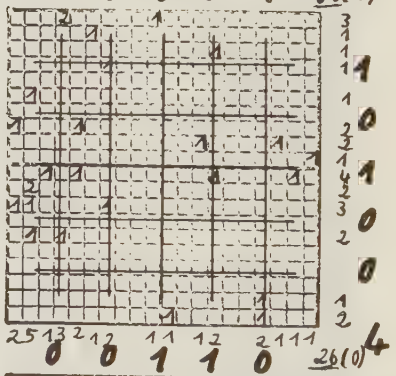
- 54 -

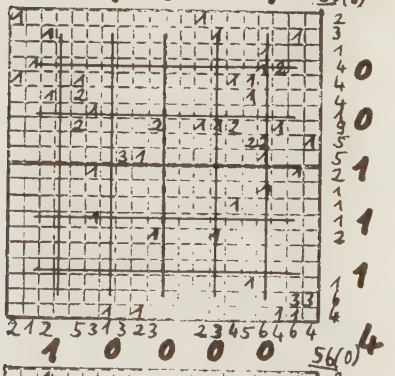
349 (2) 64 Lunkenschaubild Gup 4

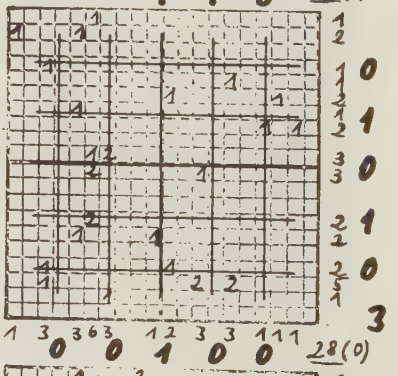


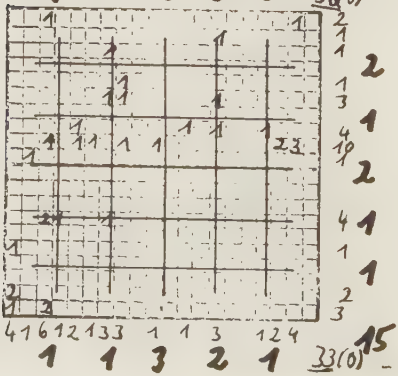


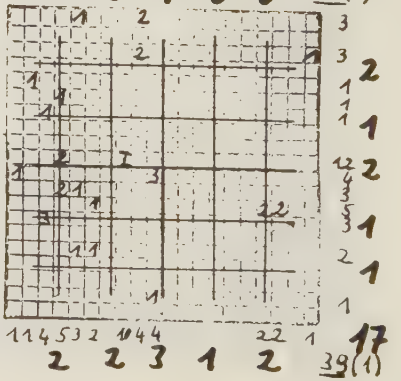






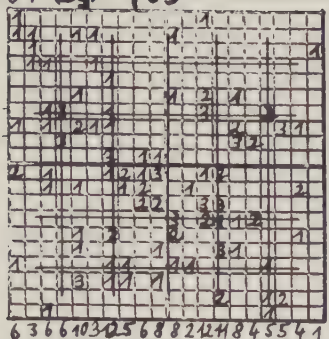


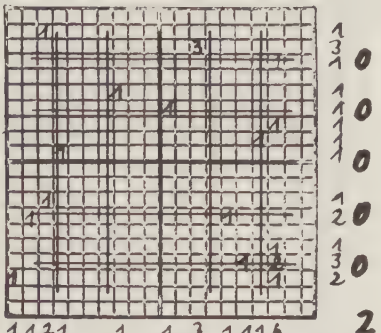


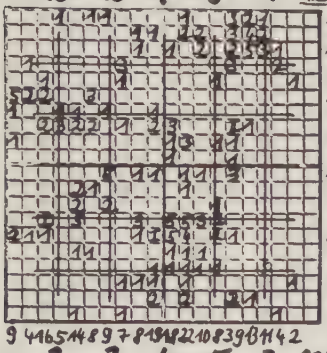


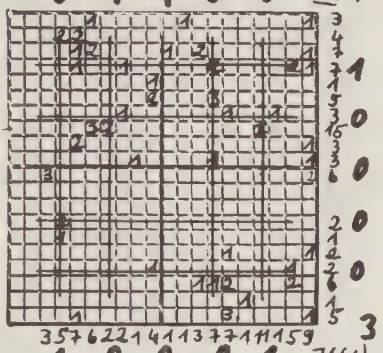
1361 (39) 109

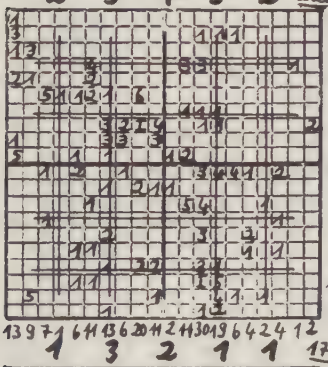
Lunkenschaubild GuA 5

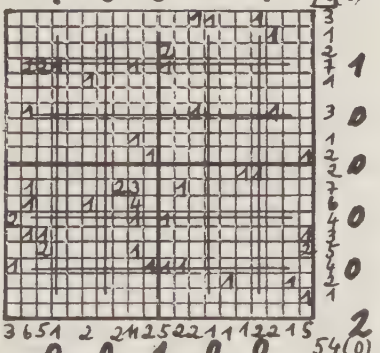


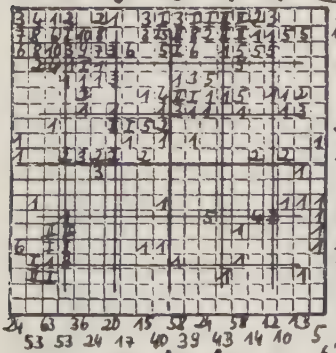


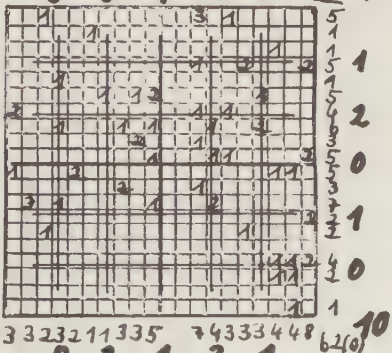






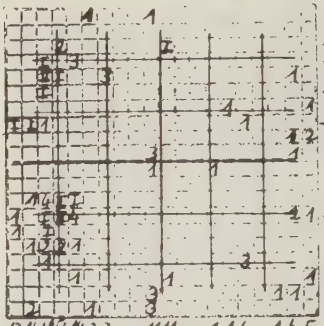


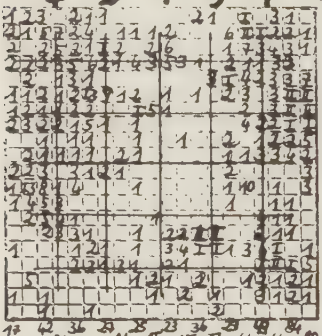


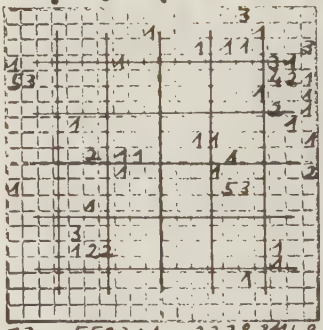


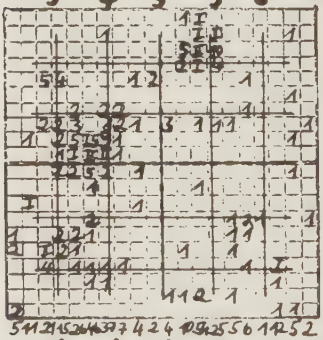
2027 (88) 145

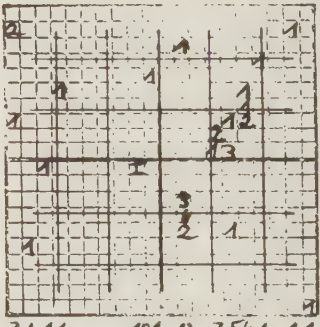
Lunkenschaubild Gup 6

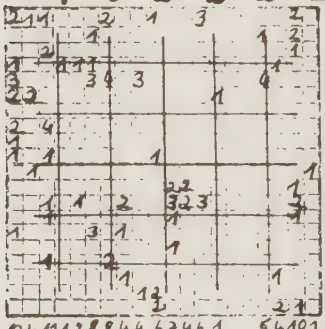


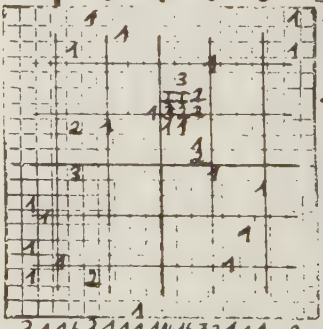




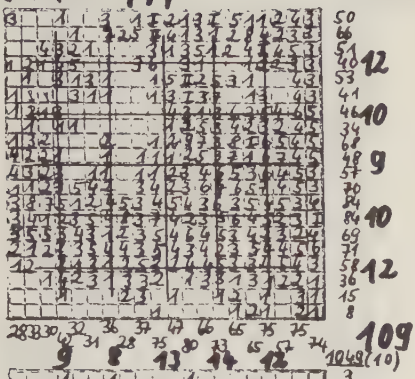


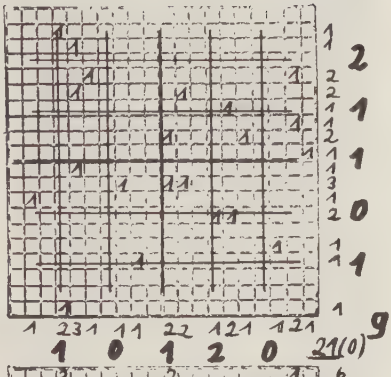


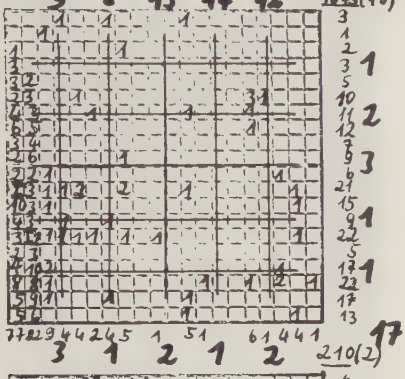


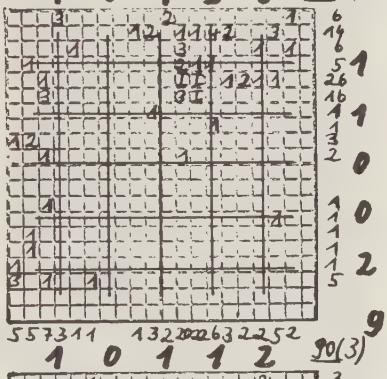


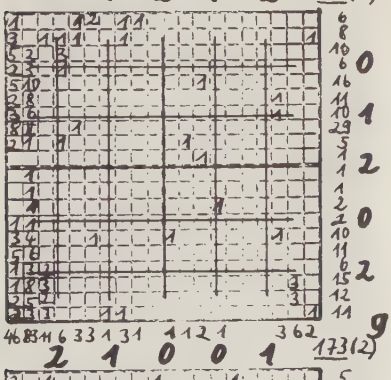
1981 (36) 174 Lunkerschaubild Goß 7

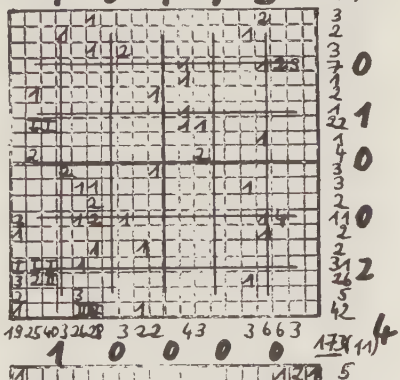


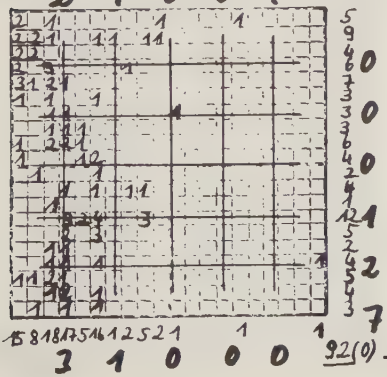


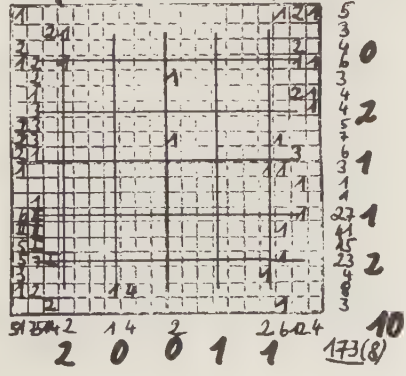




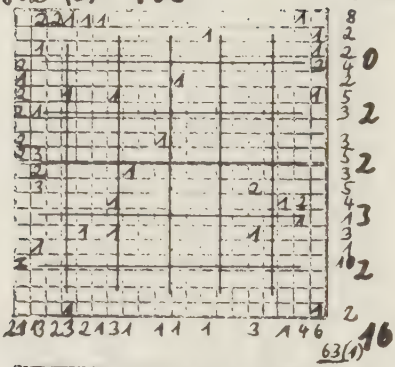


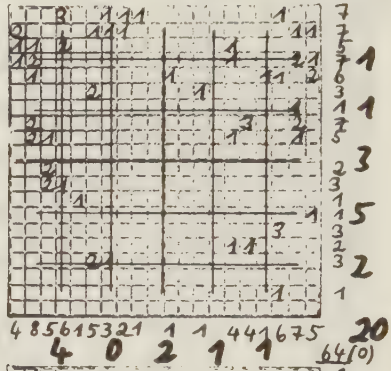


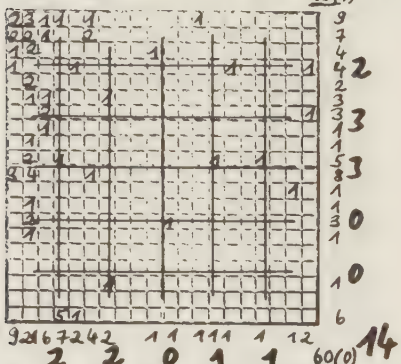


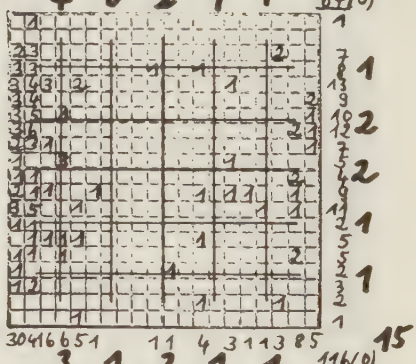


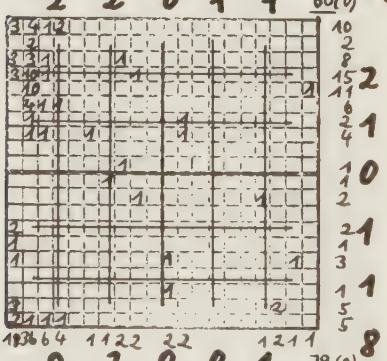
602 (3) 108 Lunkerschaubild Guß 8

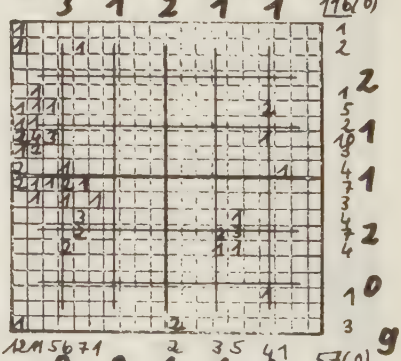


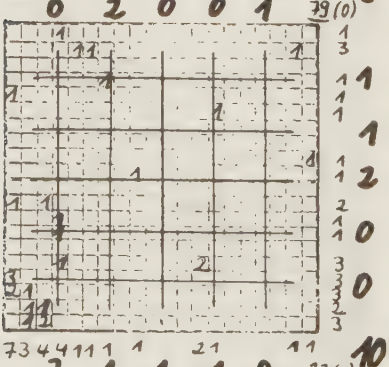


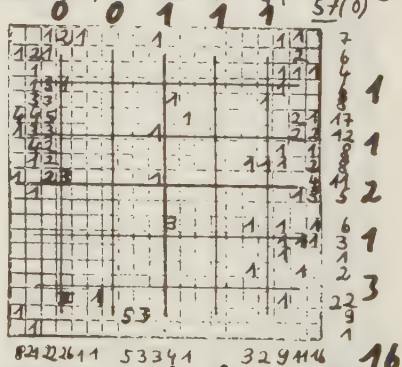




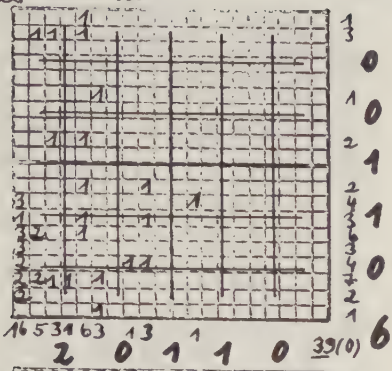


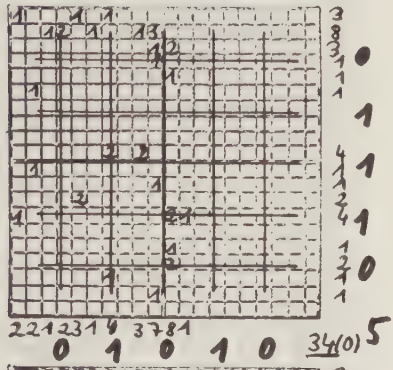


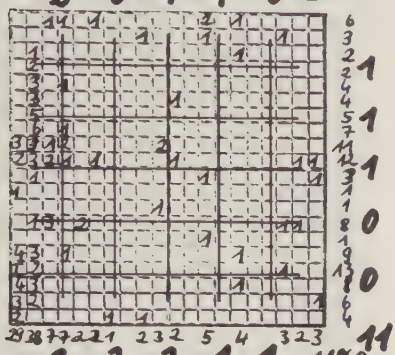


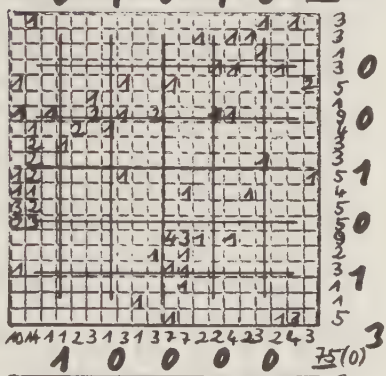


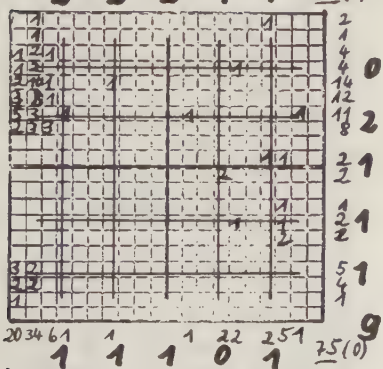
728 (5) 82 Lunkerschaubild 90/19

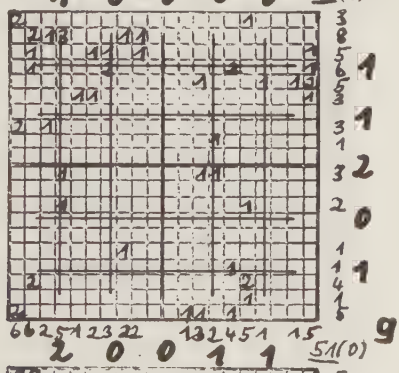


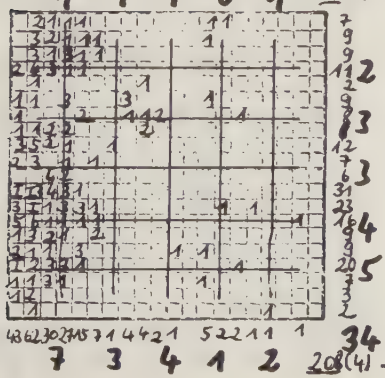


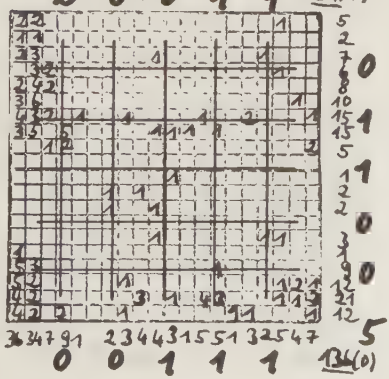




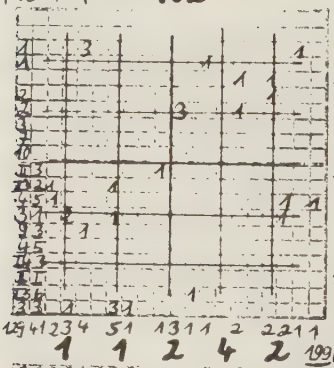




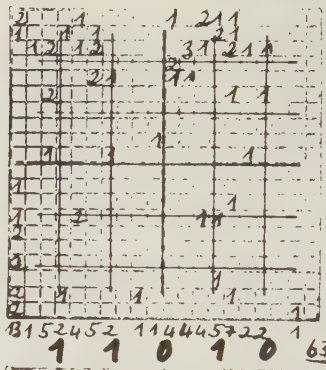




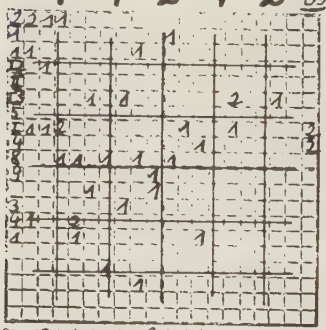
1191 (33) 102 Lunkenschaubild Gruß 10



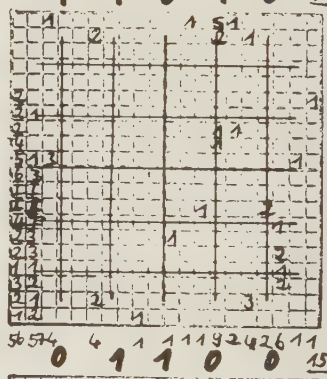
1 1 2 4 2 199(8) 14



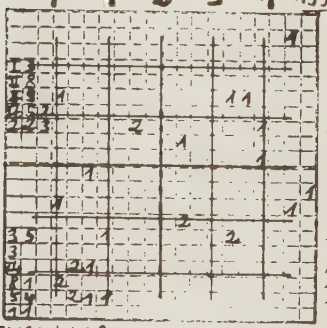
1 1 0 1 0 63(0) 7



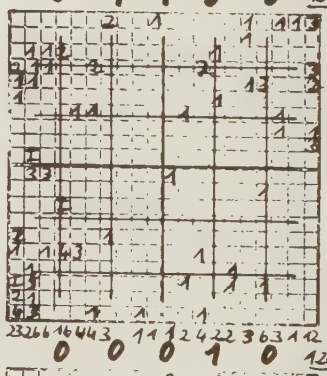
1 1 2 3 1 133(5) 10



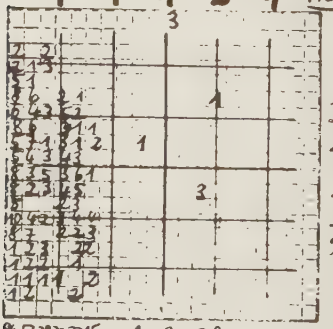
0 1 1 0 0 150(6) 4



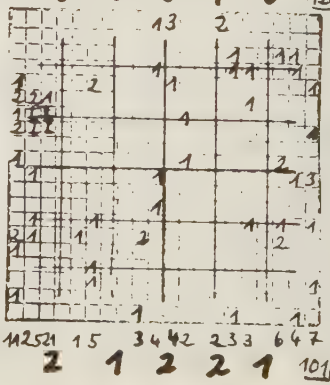
1 1 1 2 1 172(7) 16



0 0 0 1 0 120(3) 3



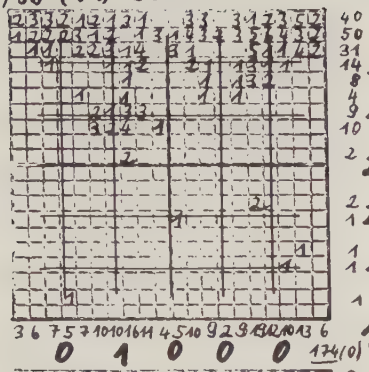
4 5 2 4 1 253(0) 33

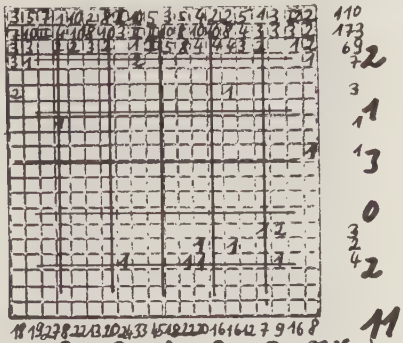


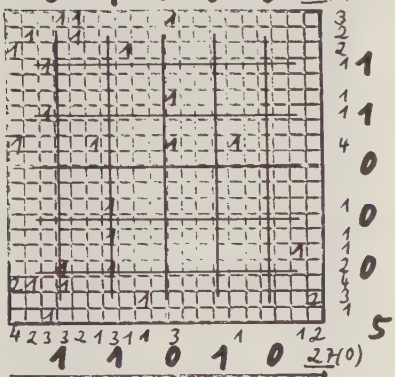
2 1 2 2 1 101(4) 15

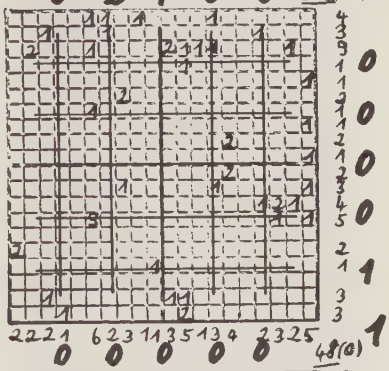
708 (11) 50

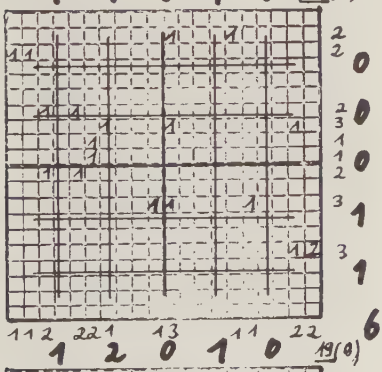
Lunkenschaubild 90 A 11

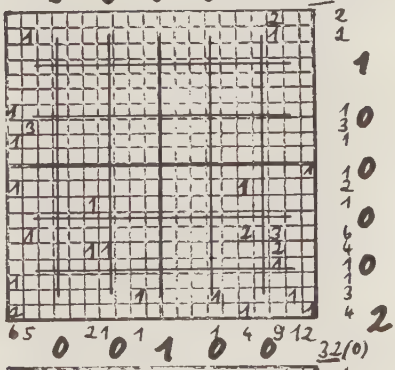


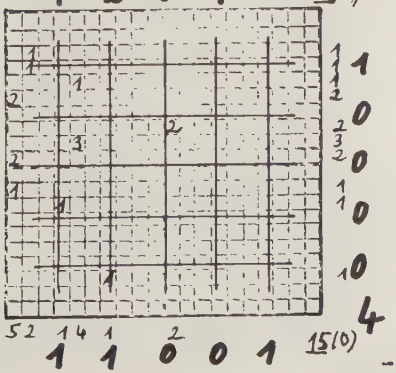


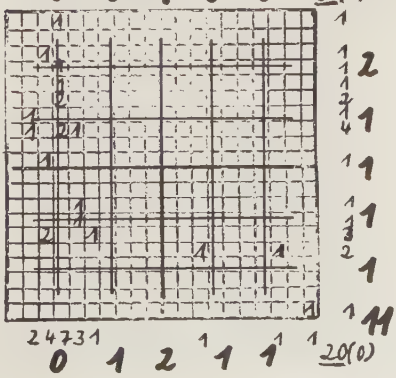




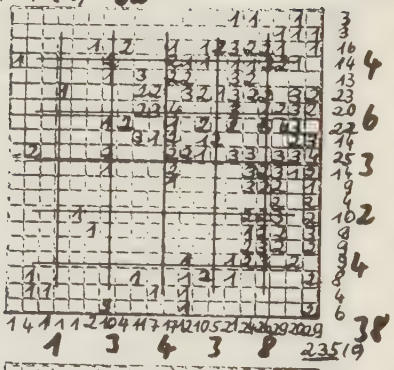


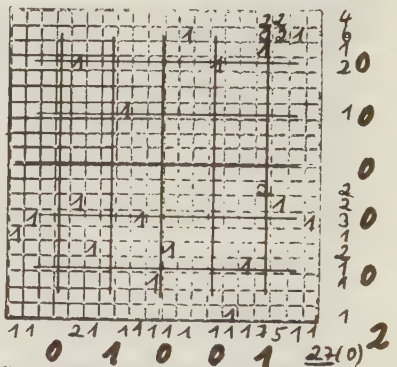


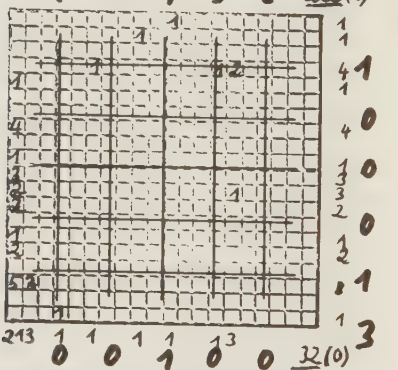


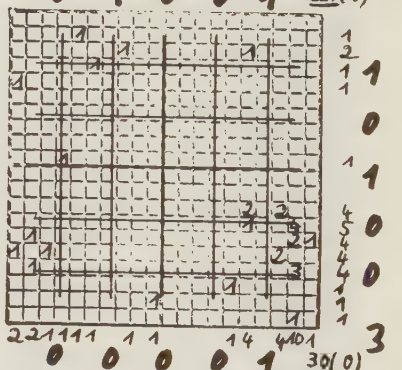


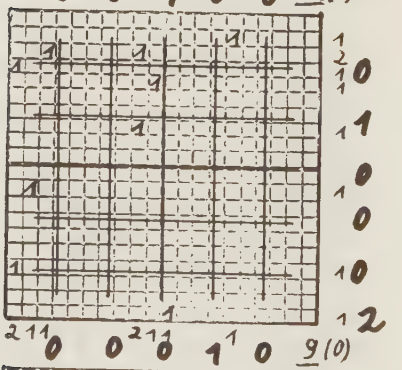
407(1) 62 Lumkeranschaubild Gup 12

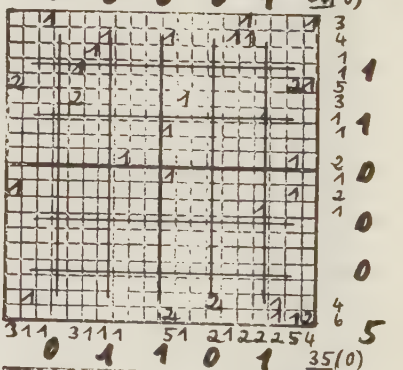


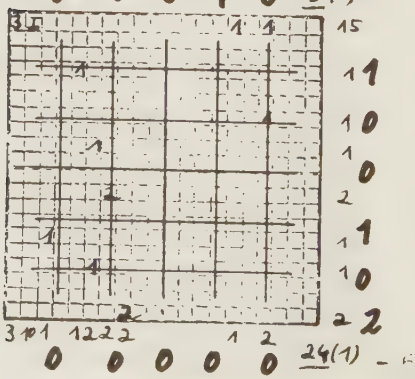




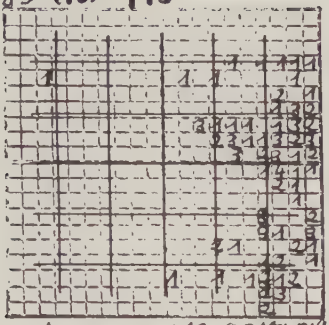




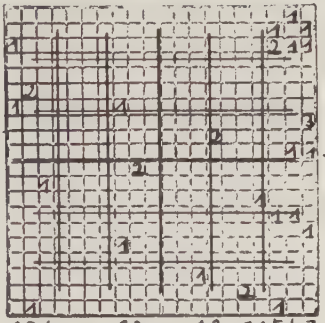




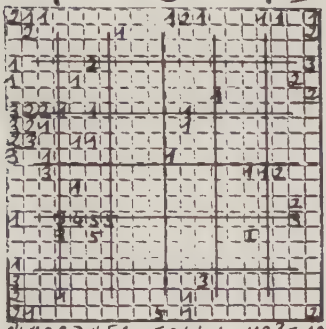
783 (40) 113 Lumkenschaubild GuP 13



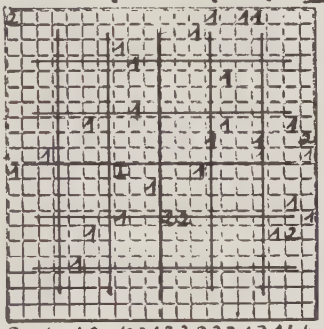
1 0 2 3 4 104(0) 21



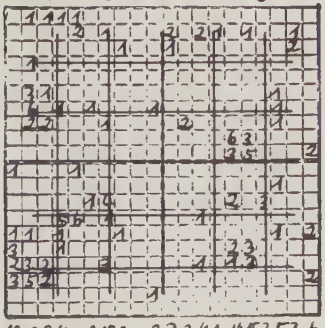
0 1 0 1 1 32(0) 11



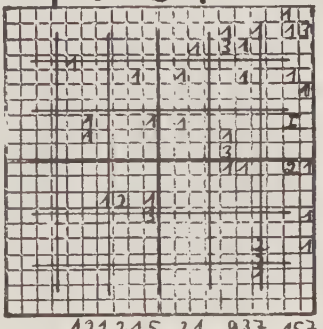
2 0 0 2 0 129(1) 10



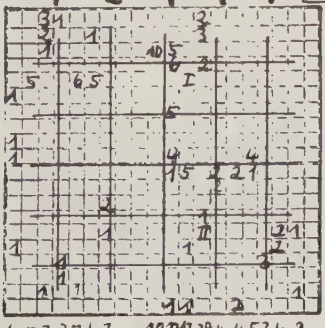
1 0 2 1 1 45(1) 8



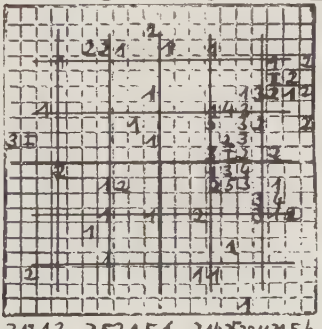
1 2 1 1 4 131(0) 23



1 3 1 3 1 56(1) 15

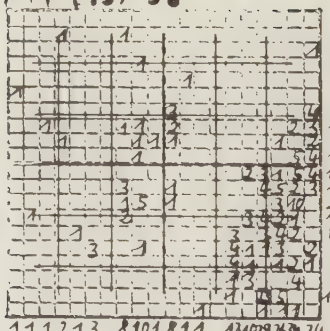


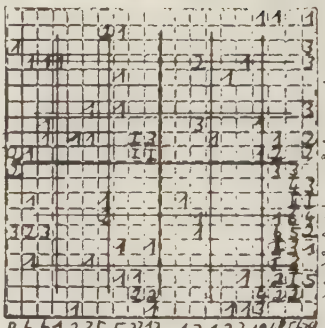
1 1 3 0 1 134(3) 14

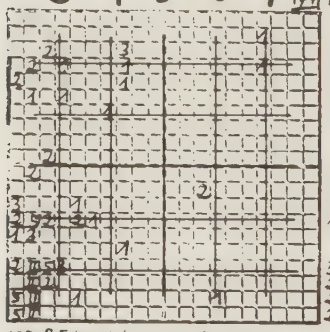


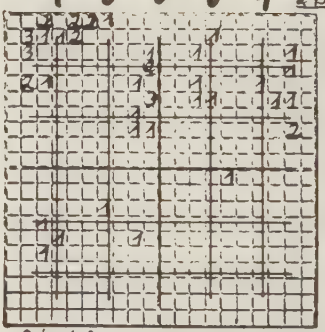
2 1 1 1 1 152(4) 11

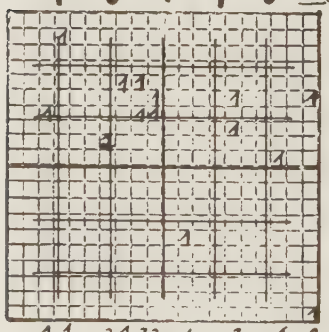
717 (19) 58 Lumkenschaubild Gup 14

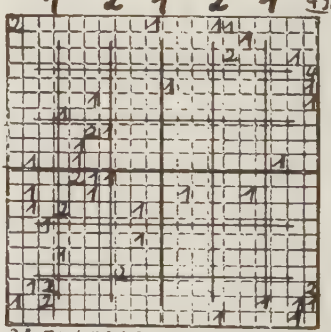


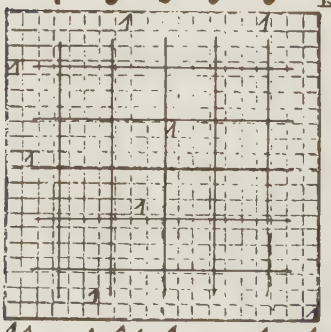






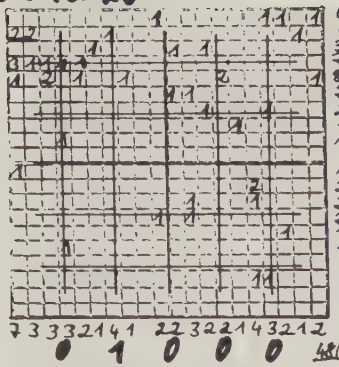


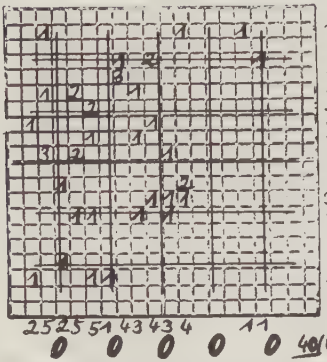


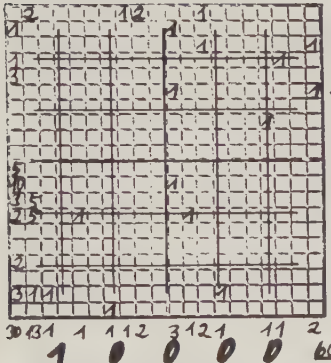


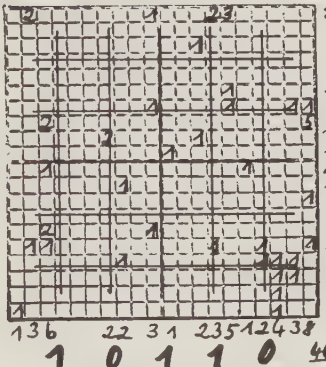
339 (0) 26

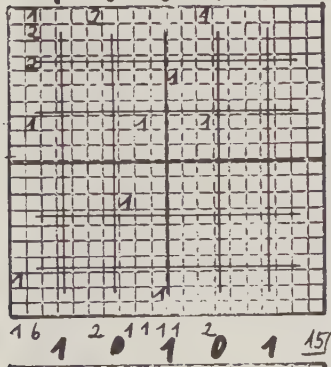
Lumkeerschaubild Gup 15

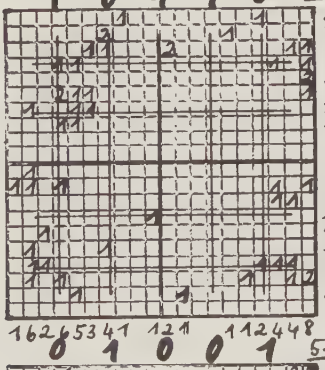


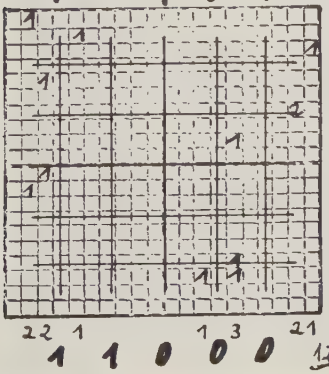


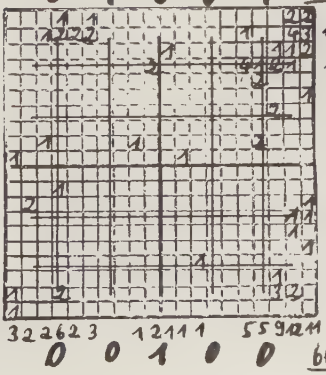




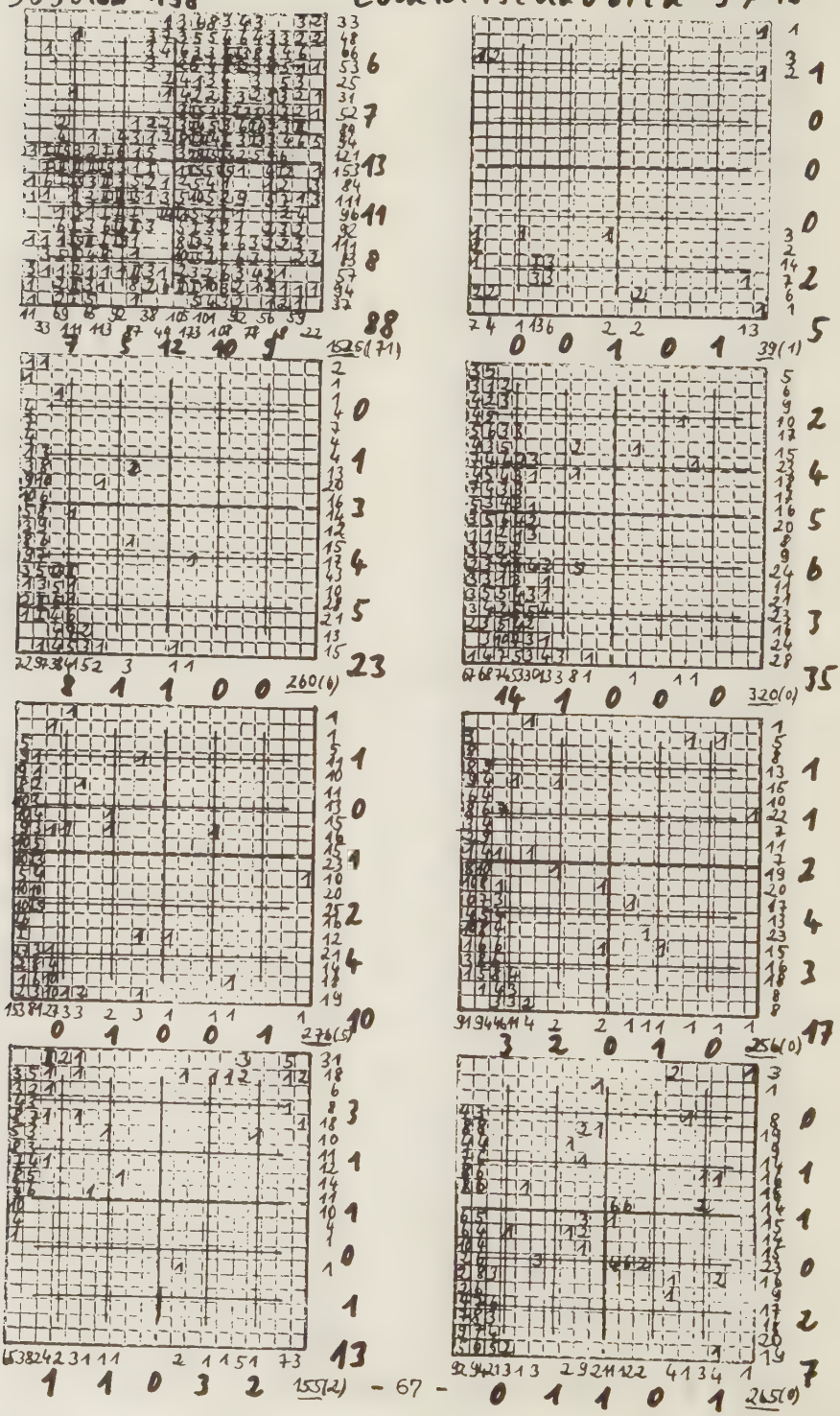




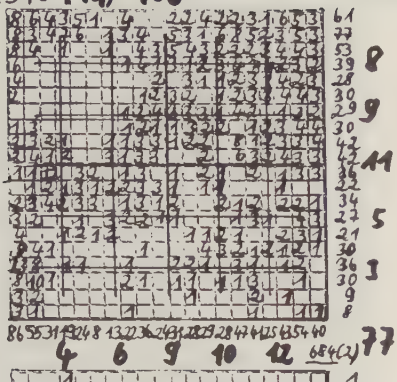


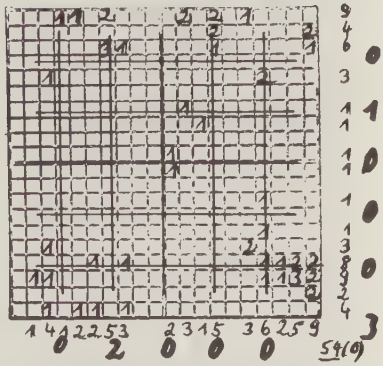


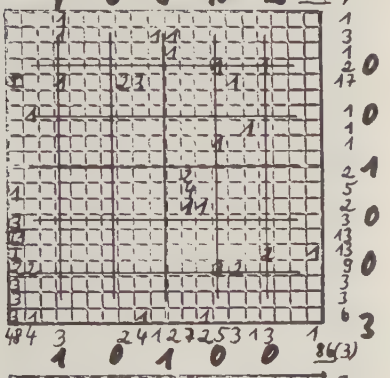
3096(85) 198 Lunkerschaubild Gruß 16

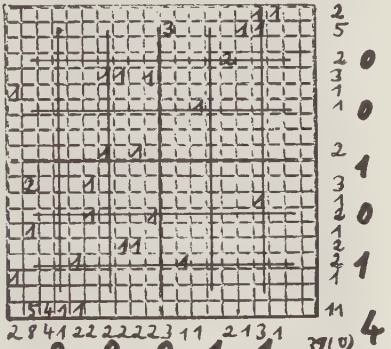


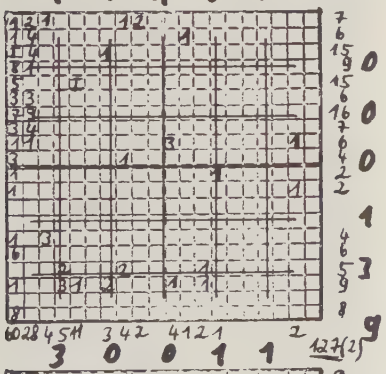
1345 (14) 106 Lunkerschaubild Guß 17

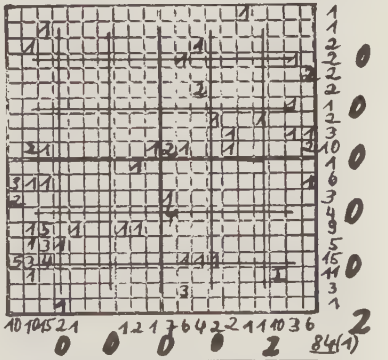


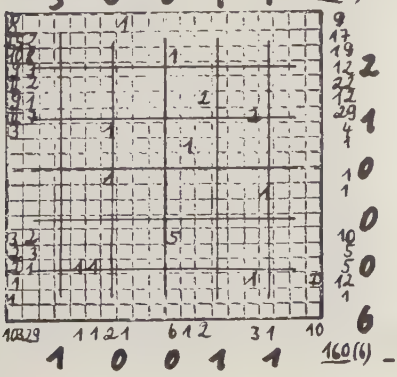


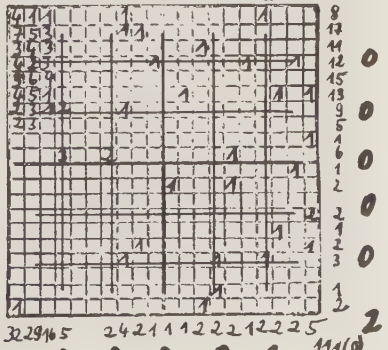






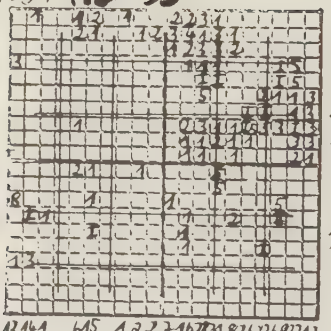


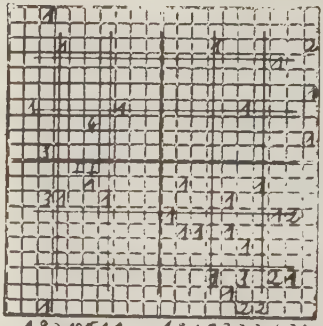


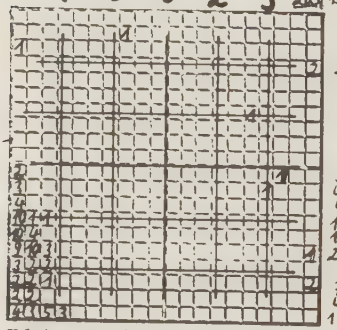


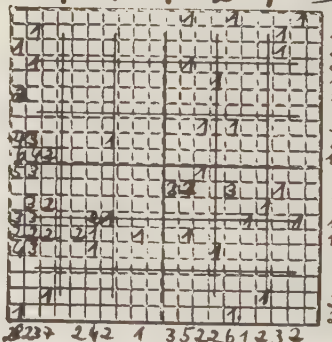
1037 (48) 59

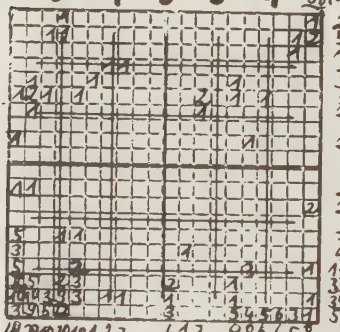
Lunkenschaubild Gup 18

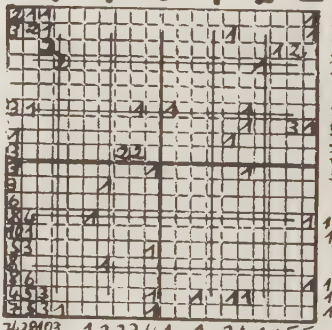


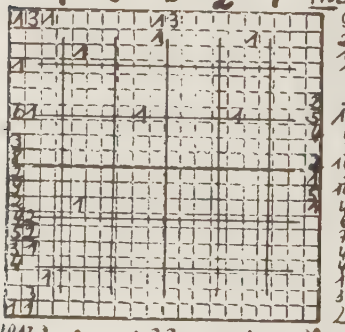


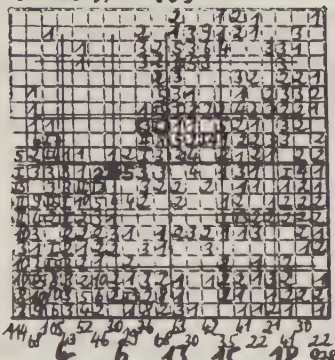


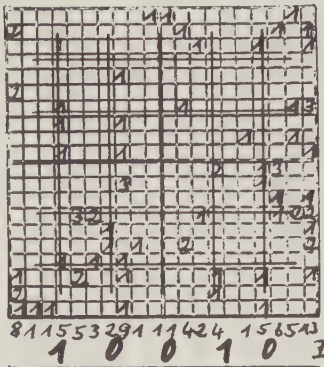


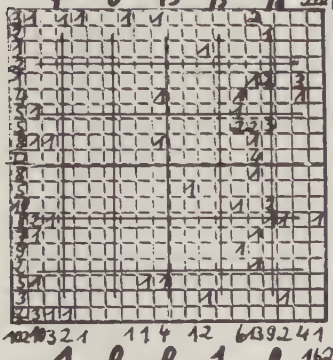


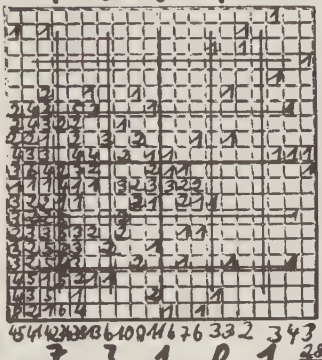


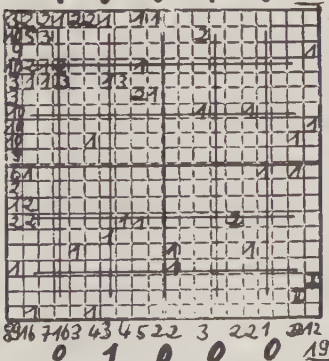


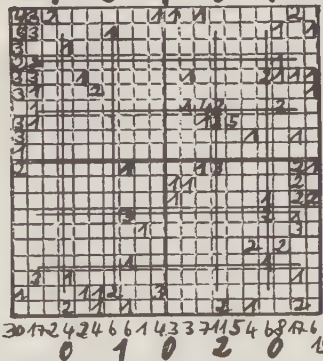


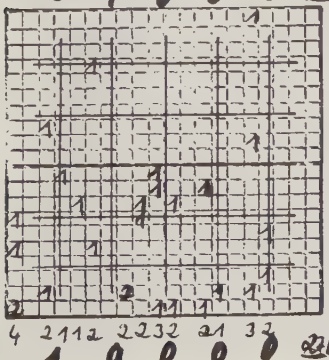


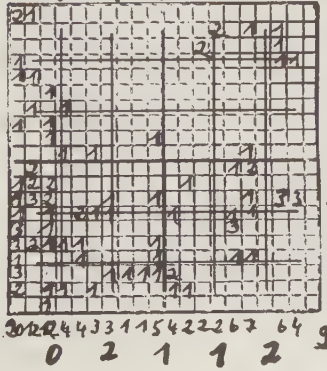




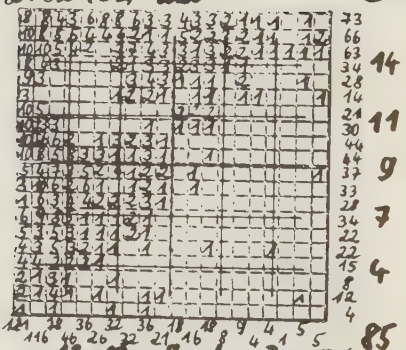


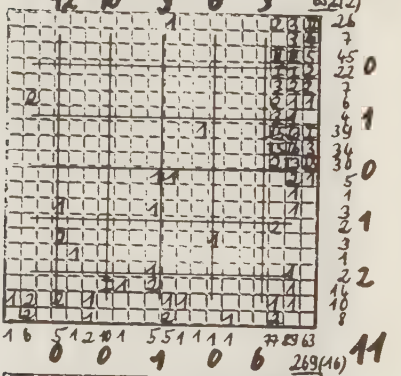


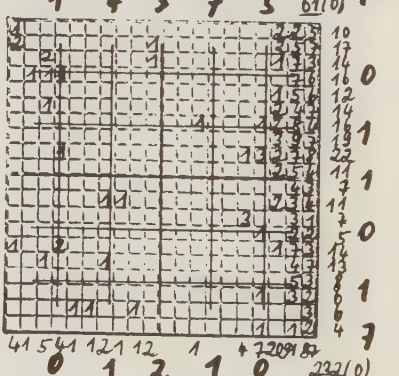


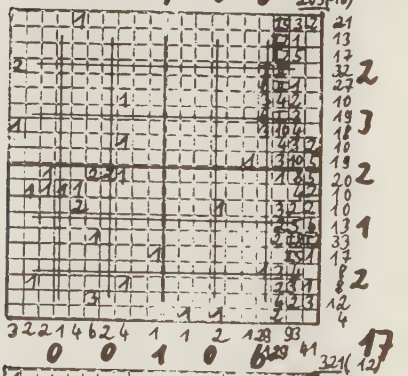


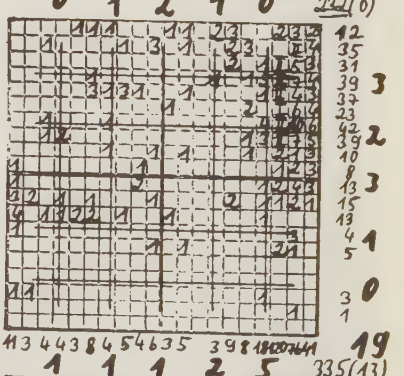
2892 (94) 220 Lumleerschaubild 90/20

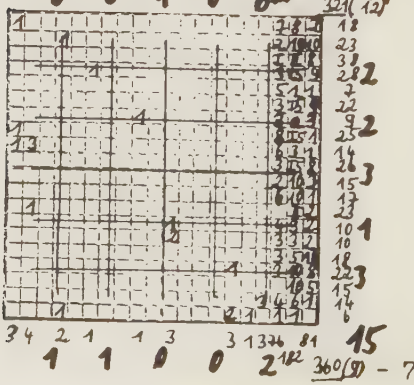


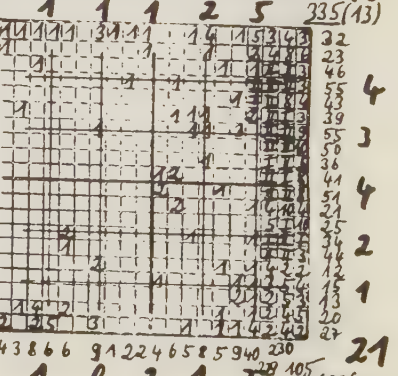




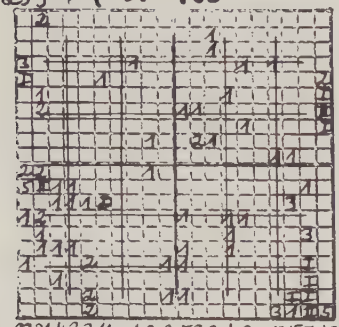


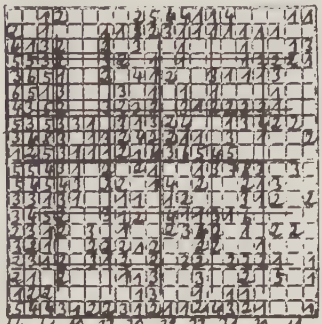


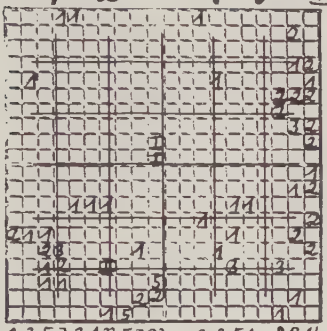


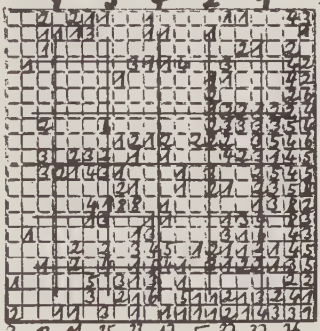


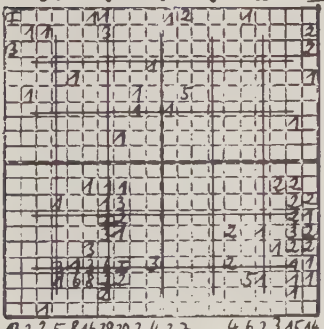
2351 (33) 185 Lumleerschaubild 90p 21

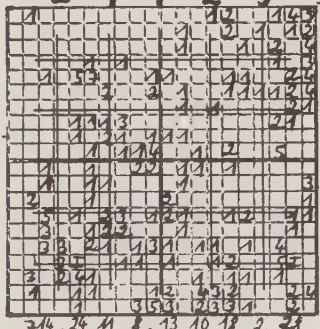


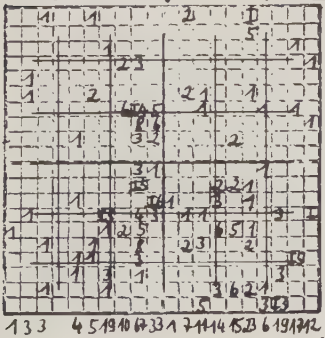


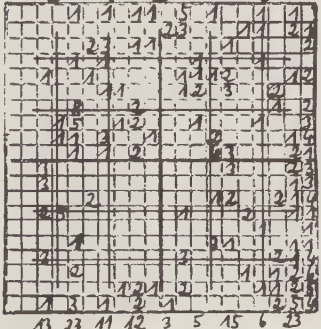






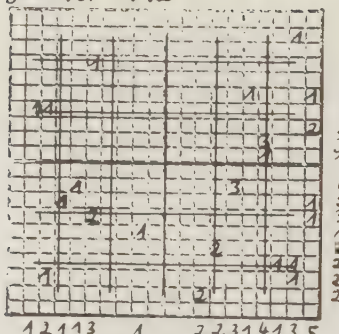


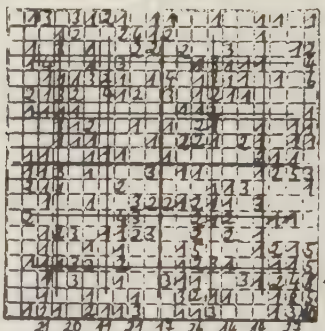


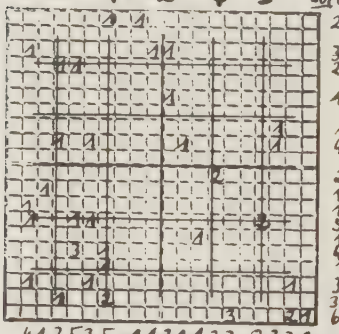


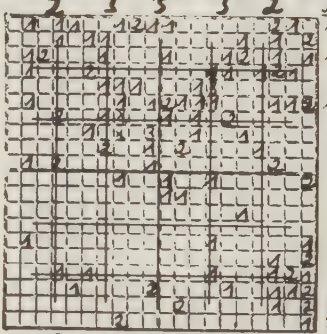
988 (0) 112

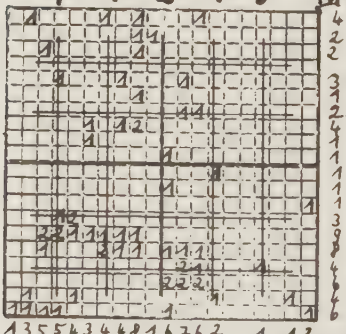
Lunkerschaubild 90ß22

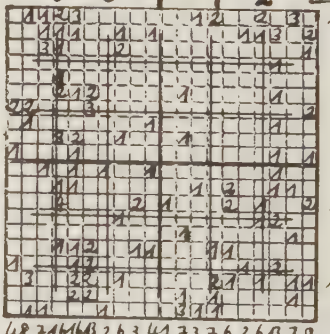


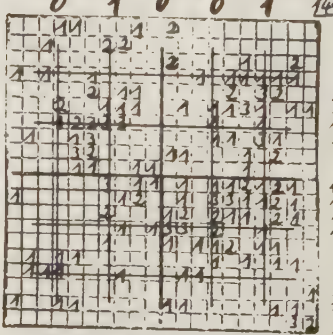




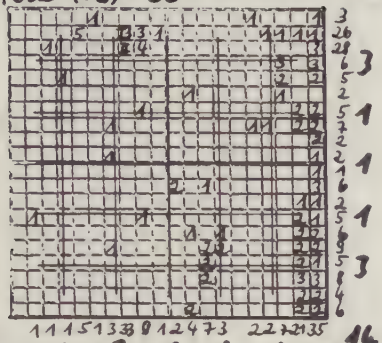


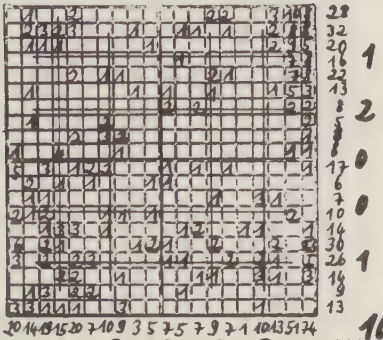


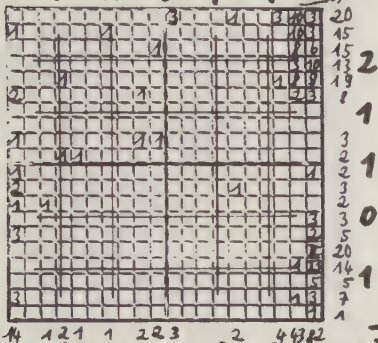


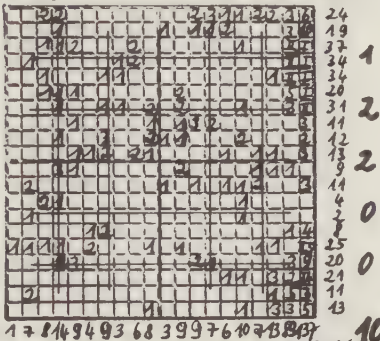


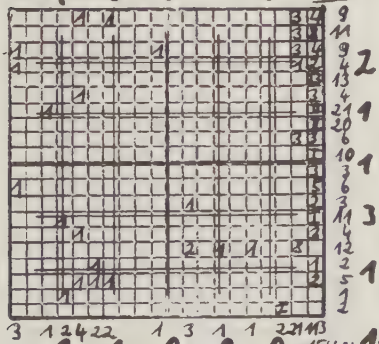
1662 (38) 95 Lumkenschaubild 90/23

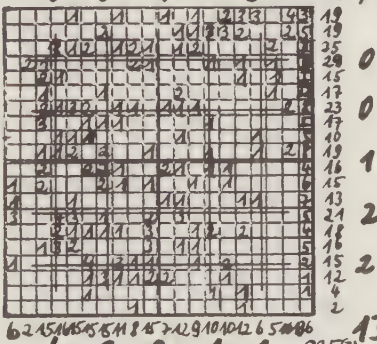


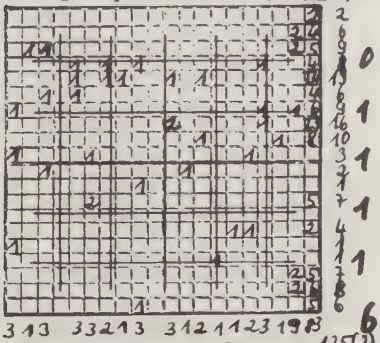


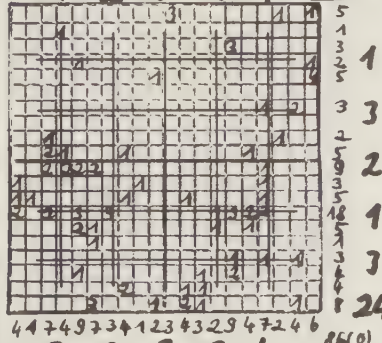






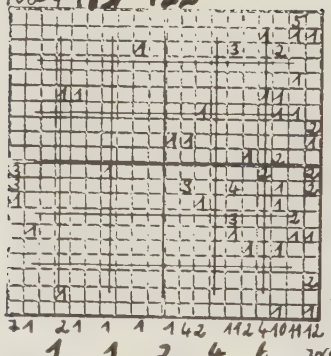




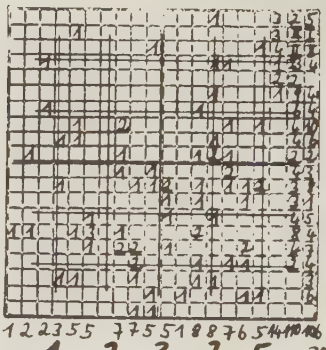


1024 (13) 122

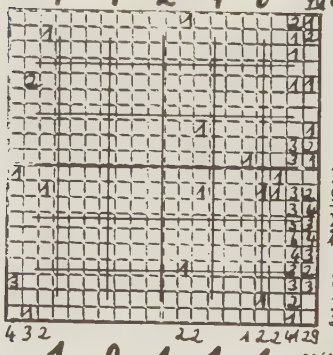
Lunkenschaubild Gup 24



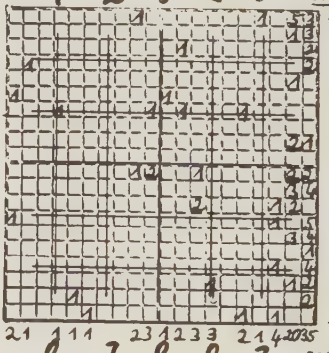
1 1 2 4 6 30(0) 30



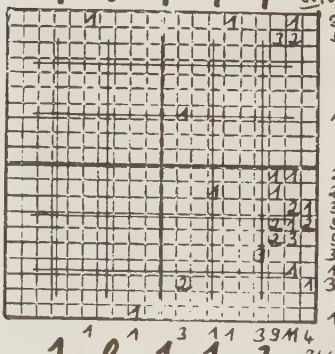
1 2 3 3 5 30 7(0) 38



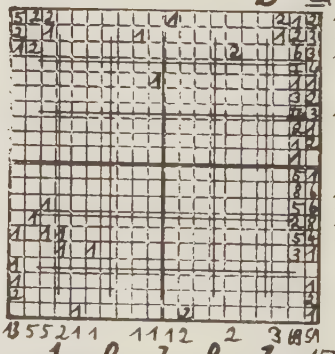
1 0 1 1 1 22(0) 11



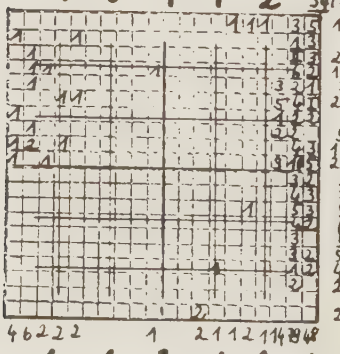
2 1 3 0 0 2 22(0) 10



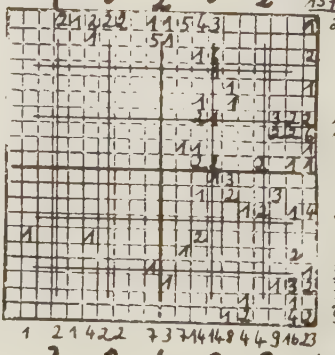
1 0 1 1 2 34(0) 10



1 0 2 0 2 157(2) 7

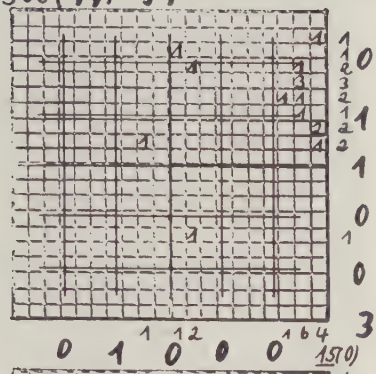


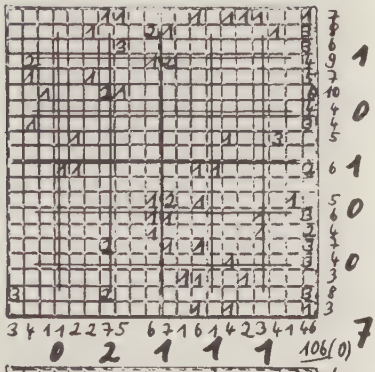
1 1 2 1 0 165(3) 8

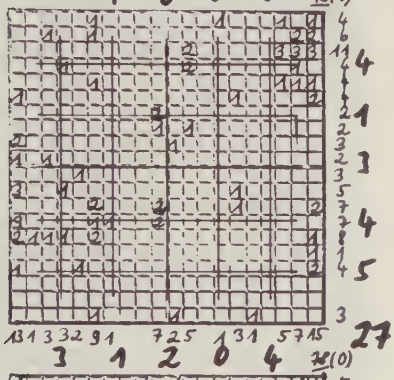


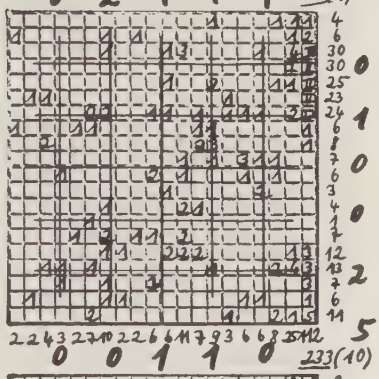
3 0 4 2 3 121(0) 18

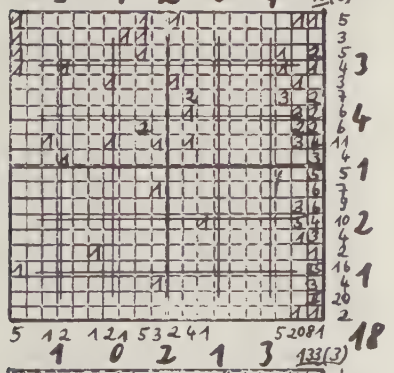
906 (17) 97 Lunkerschaubild Guß 25

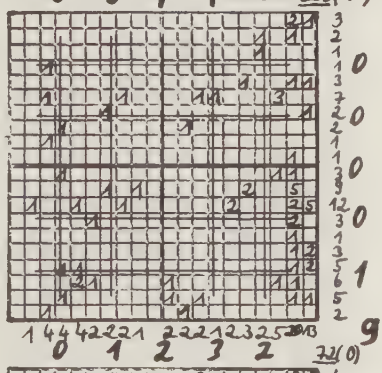


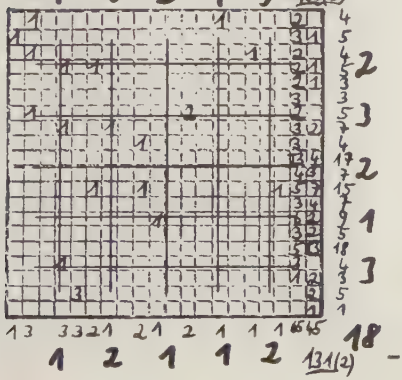


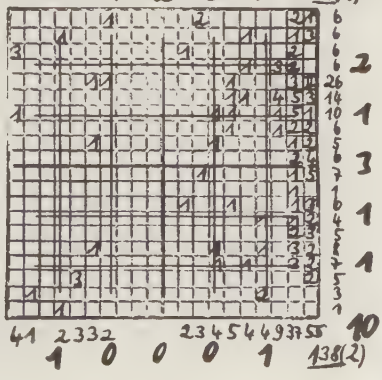




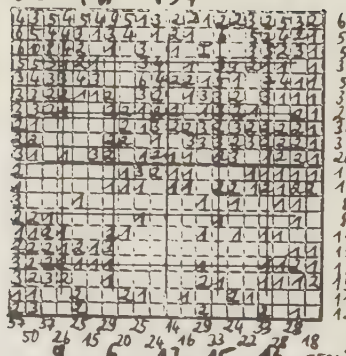


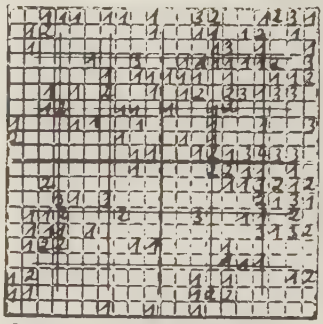


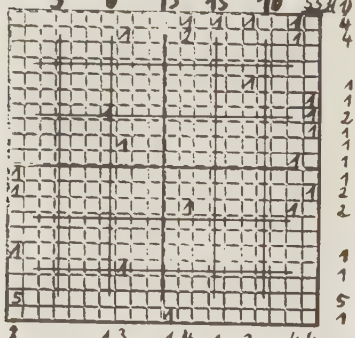


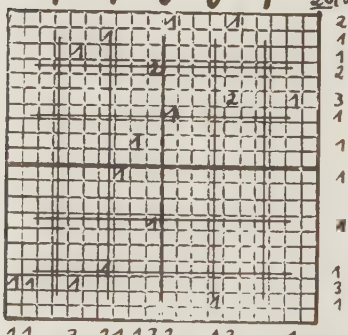


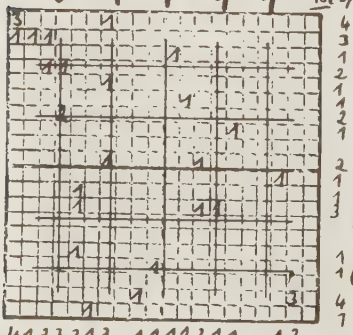
1090 (1) 154 Lumkenschaubild 90/26

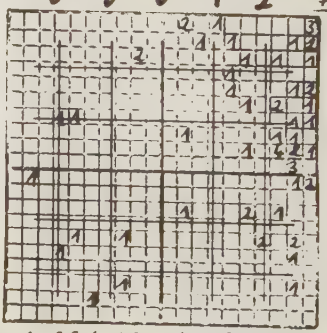






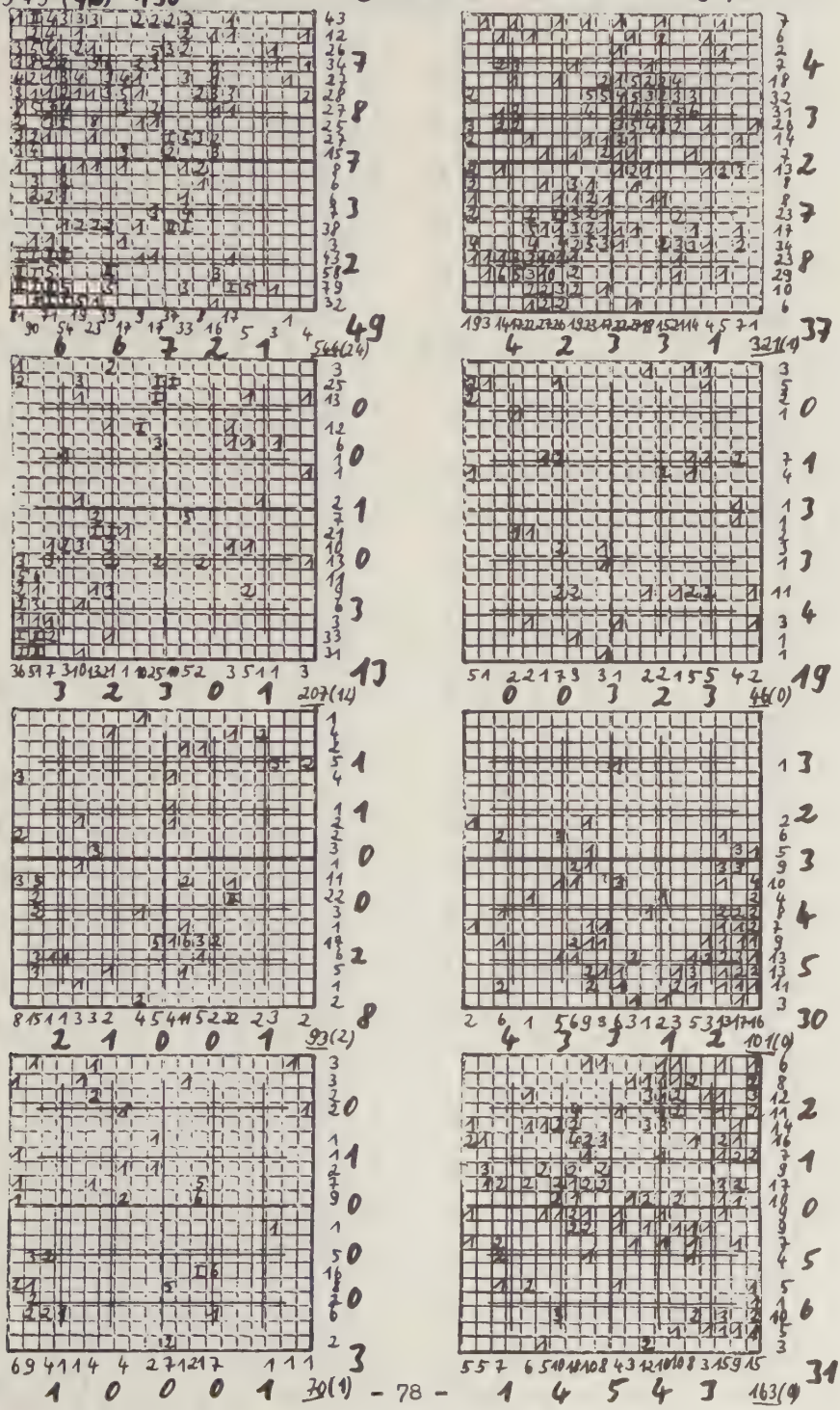






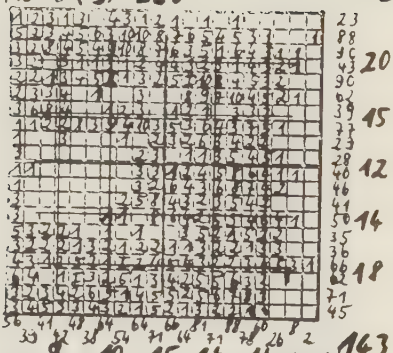
1545 (40) 190

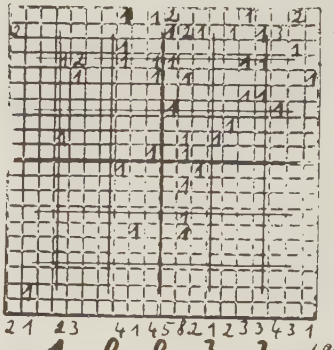
Lunkerschaubildgroß 27

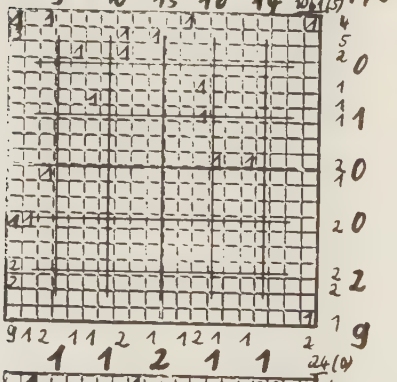


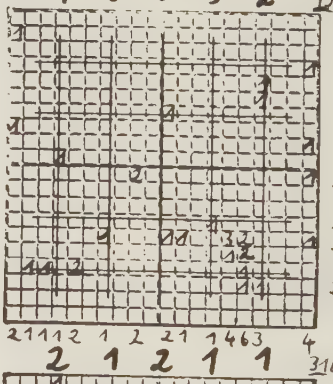
1258(5) 220

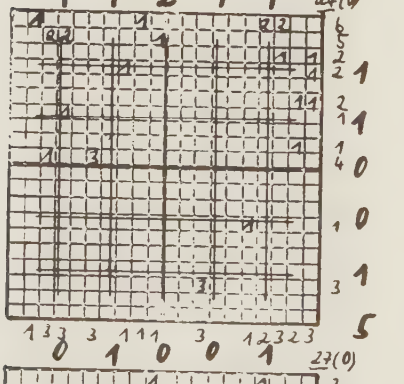
Lunkenschaubild 90/28

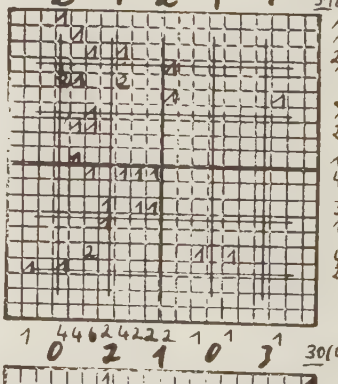


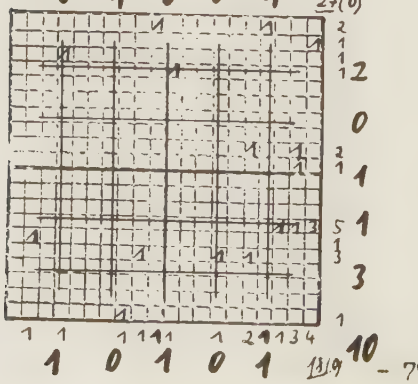


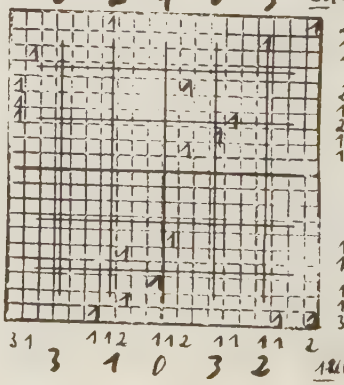






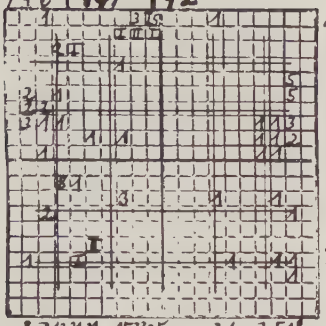






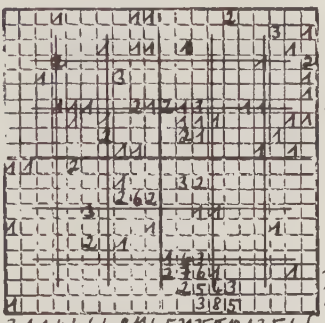
Lunkerschaubild Guß 29

746 (17) 142



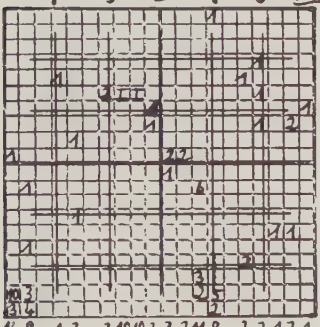
33

4 3 3 1 5 161(9)



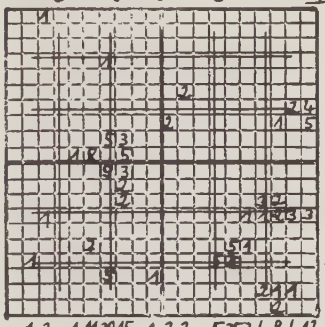
15

3 1 0 5 3 143(0)



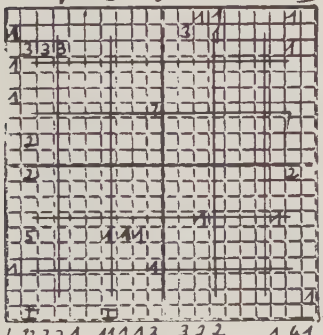
26

4 2 3 3 2 85(2)



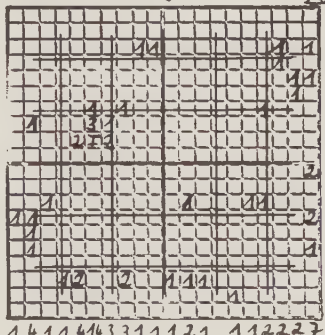
26

0 7 1 3 2 119(2)



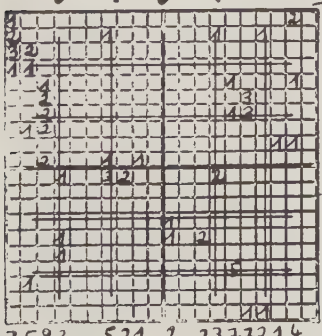
3

0 1 0 1 0 62(2)



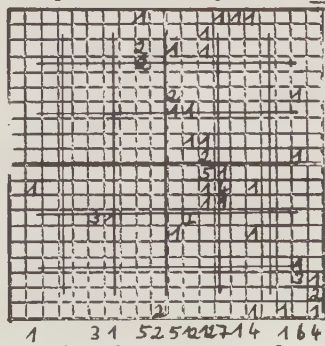
19

0 0 1 2 3 52(1)



12

1 1 1 0 1 60(0)

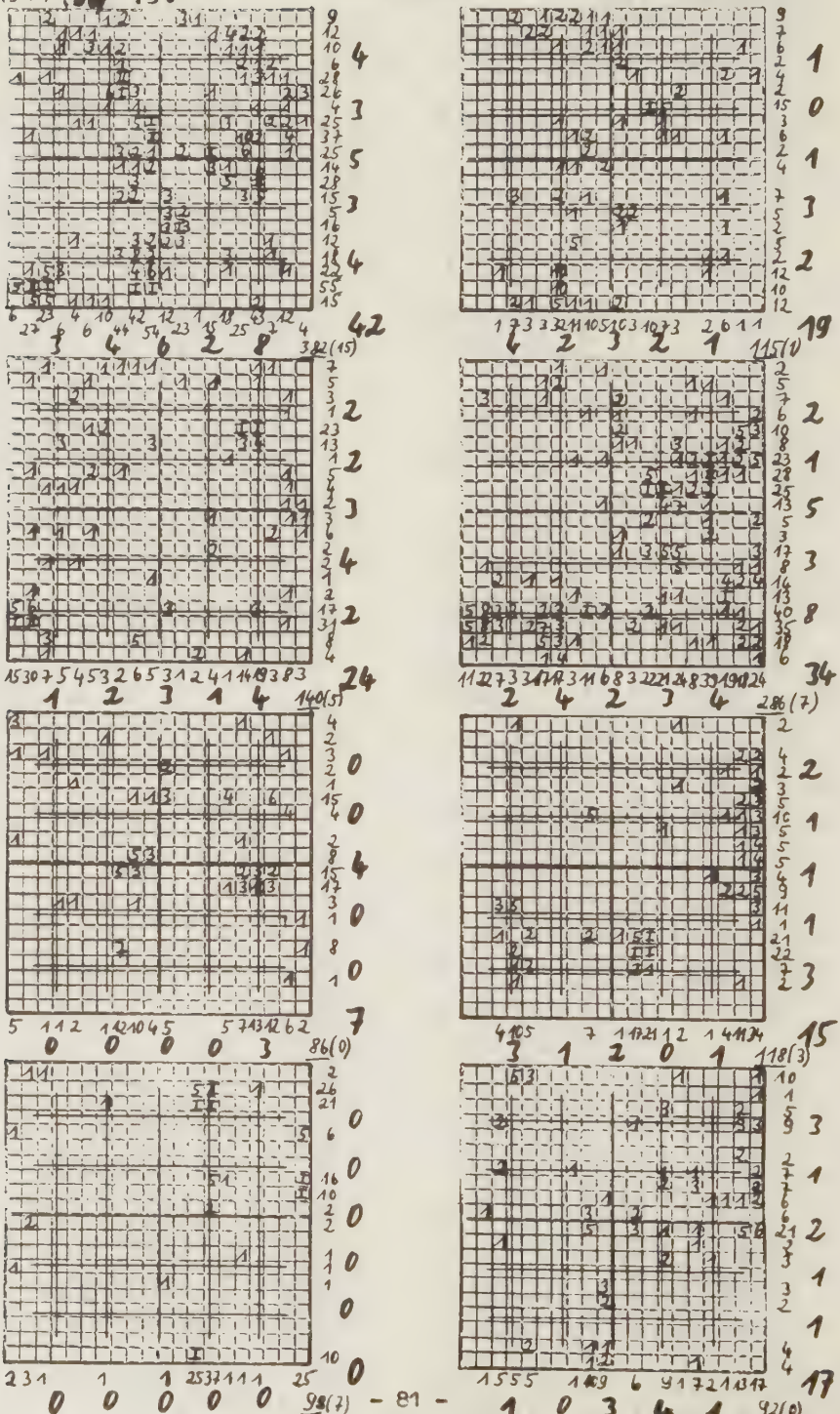


8

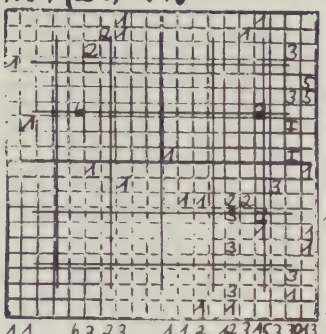
1 1 0 1 1 64(1)

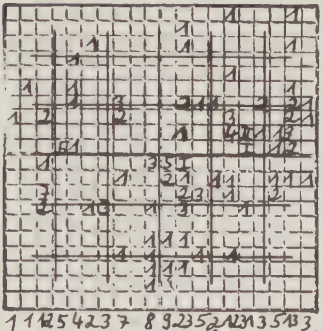
1317 (38) 158

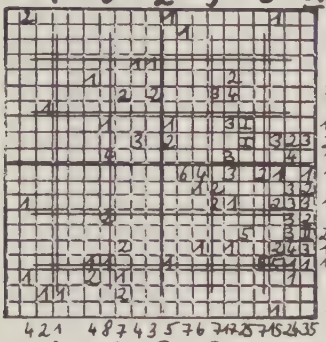
Lunkerschaubild 90ß 30

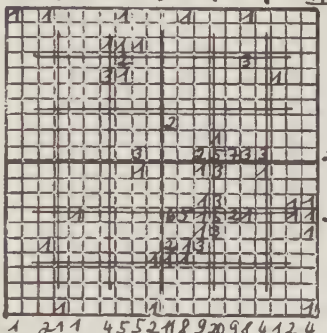


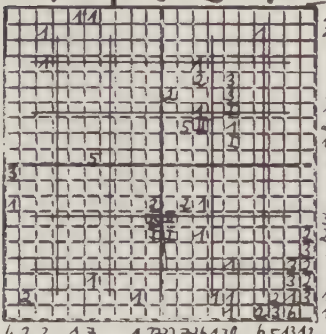
1087 (28) 146 Lumkenschaubild 90A 31

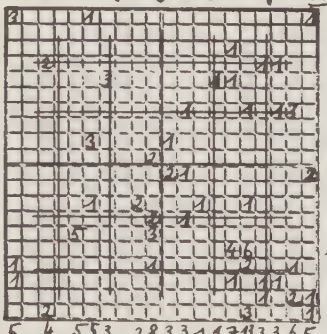


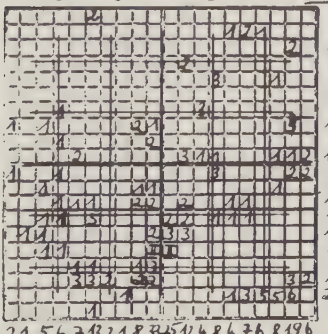


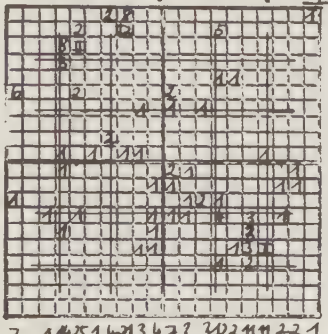






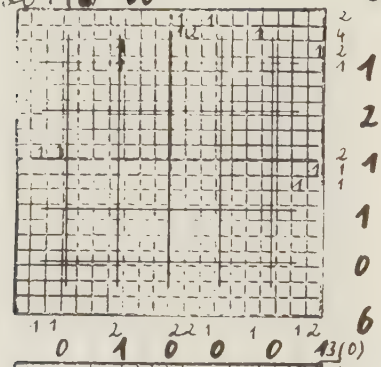


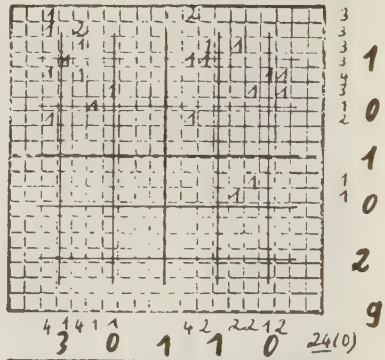


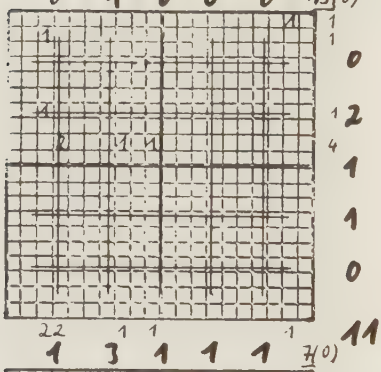


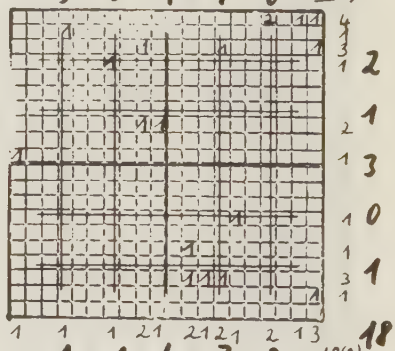
261 (8) 86

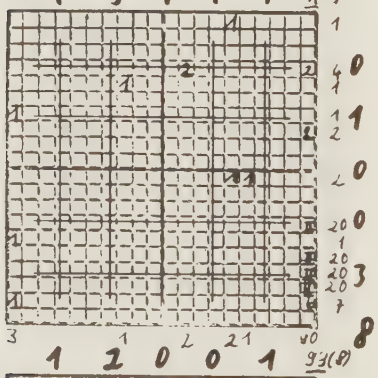
Lunkerschaubild Guß 32

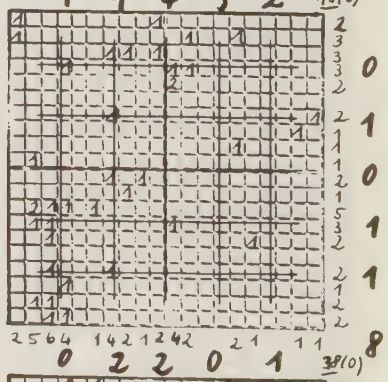


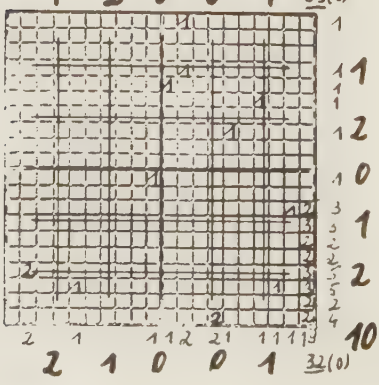


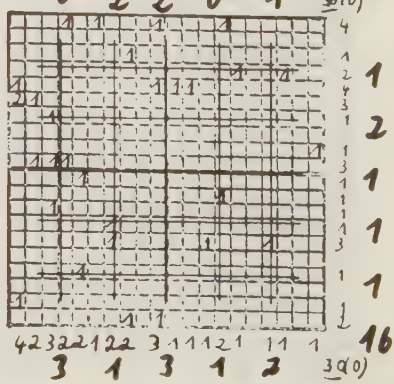






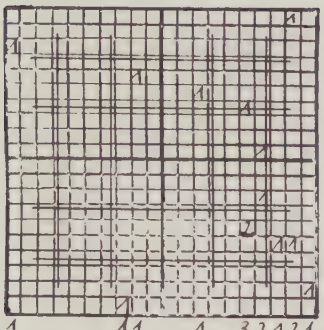






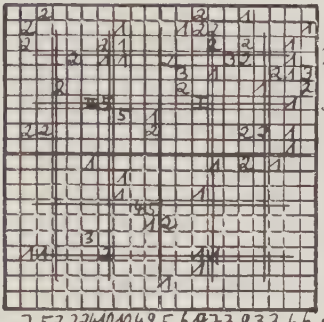
1026 (16) 152

Lunkerschaubildguß 33



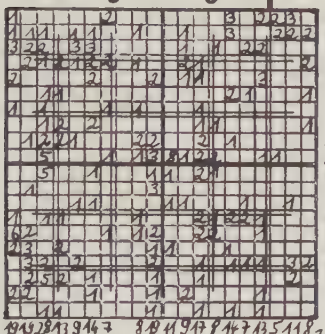
0 0 0 0 1

13 (0)



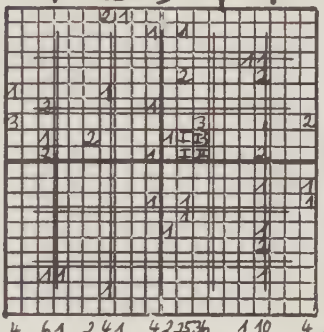
1 2 3 4 1

138 (3)



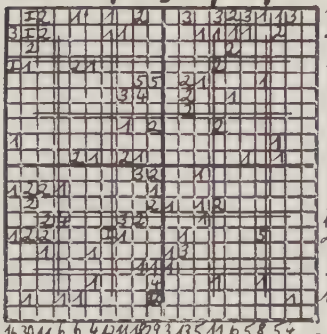
3 4 5 4 7

239 (0)



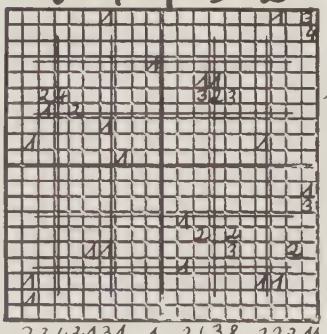
0 1 1 3 2

100 (5)



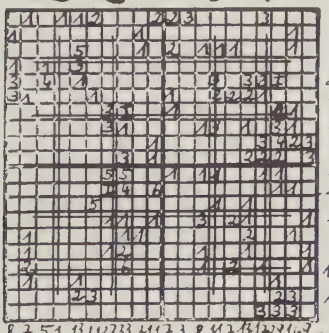
2 2 1 3 1

203 (5)



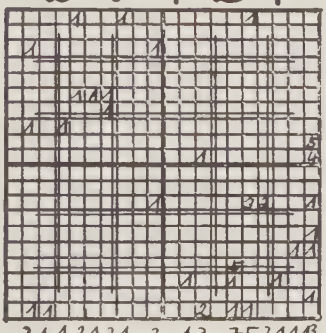
2 0 1 2 1

54 (0)



2 3 4 5 8

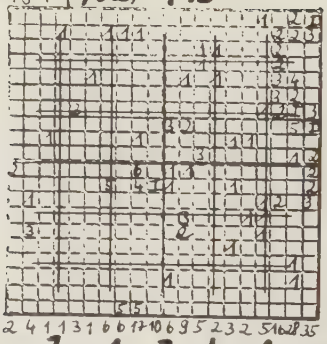
233 (3)



3 1 0 2 1

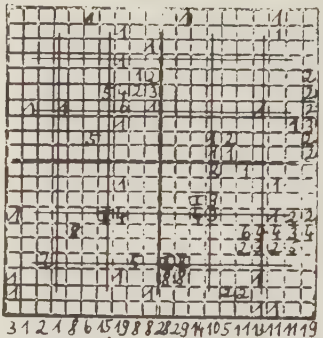
46 (0)

2481 (132) 172 Lunkerschaubild goß 34



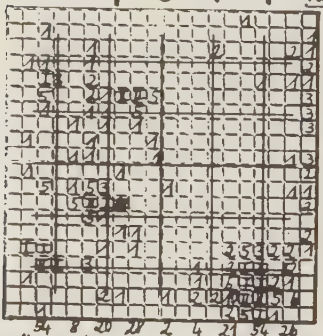
1 3 2 1 2 20

2 1 3 4 1 162(4)



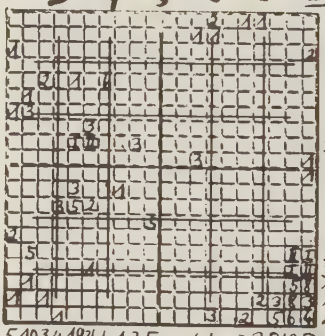
2 3 1 4 6 33

2 4 5 3 3 222(6)



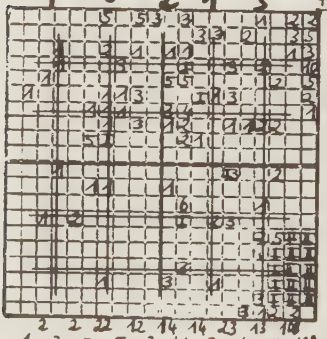
1 2 2 1 4 22

1 3 2 1 5 418(24)



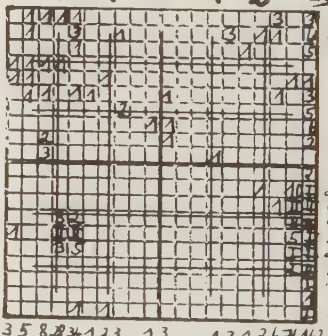
2 4 1 3 1 18

3 1 0 1 2 208(9)



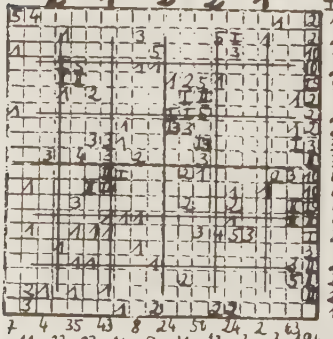
3 1 2 2 2 18

2 1 2 2 1 469(29)



1 2 3 2 2 20

3 1 2 1 3 319(21)

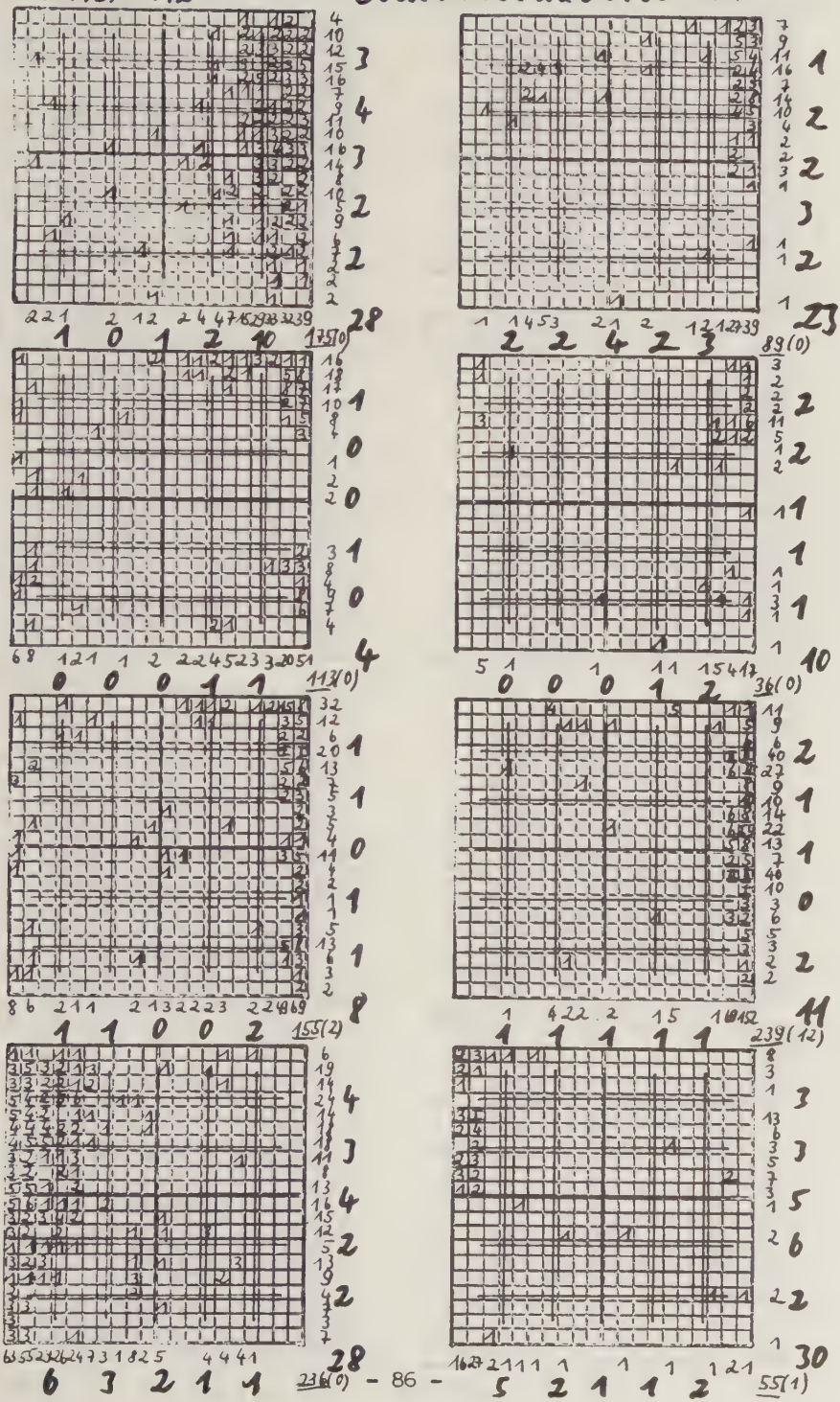


2 2 3 1 1 17

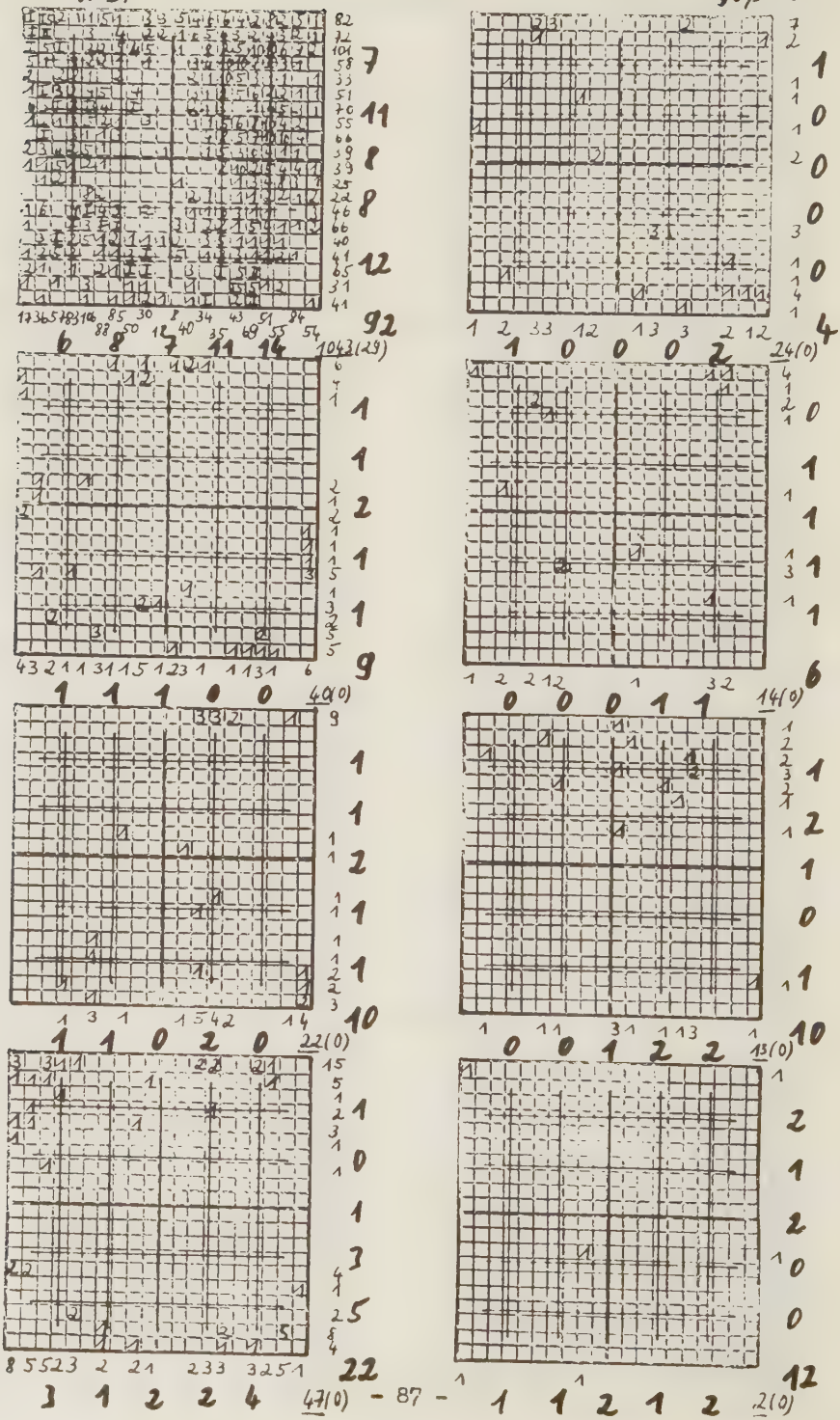
1 2 1 1 3 583(36)

3 2 2 2 1 24

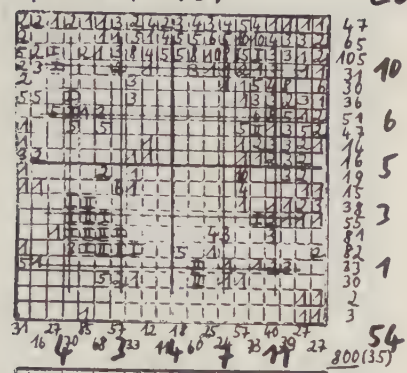
2 3 4 2 3 94(3)

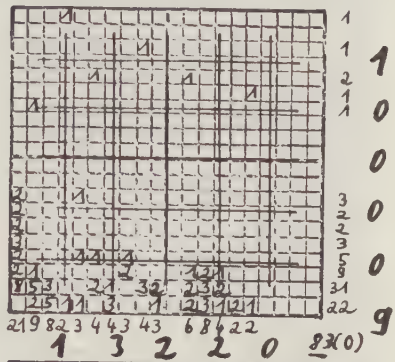


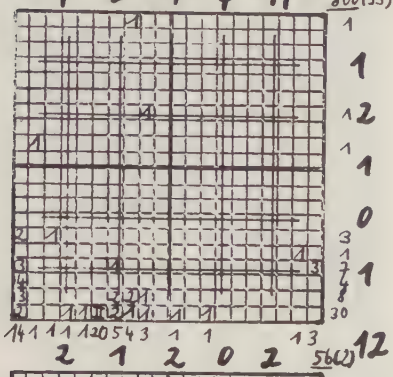
1205 (29) 165 Lunkerschaubild Guß 36

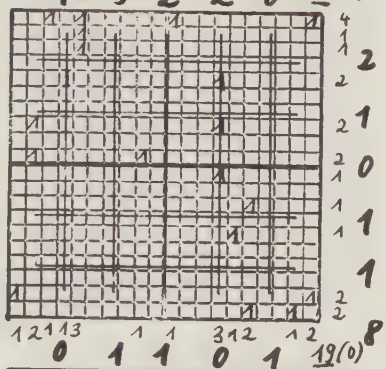


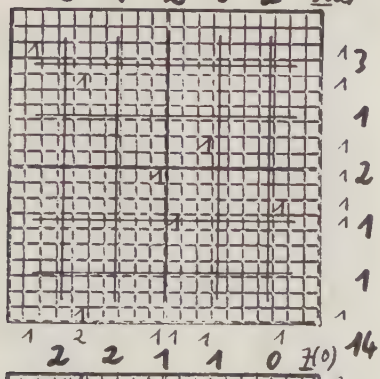
1100 (39) 134 Lunkerschaubild Guß 37

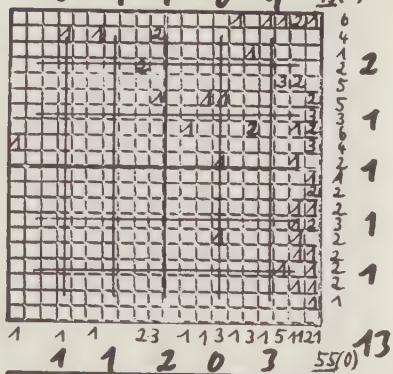


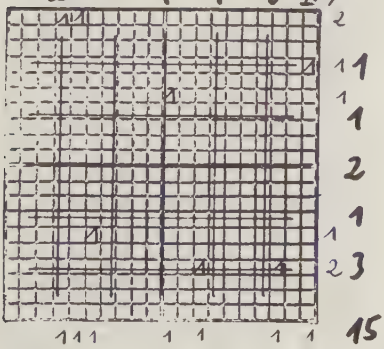


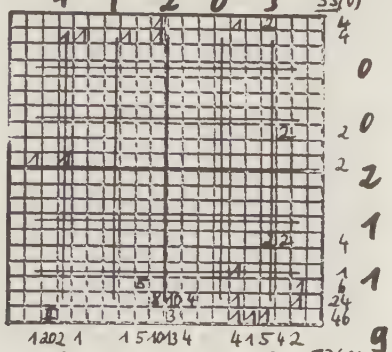




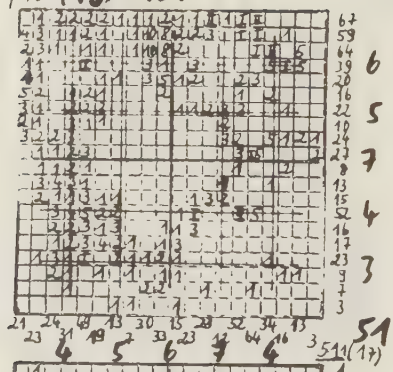


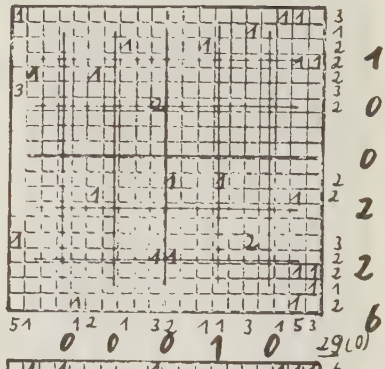


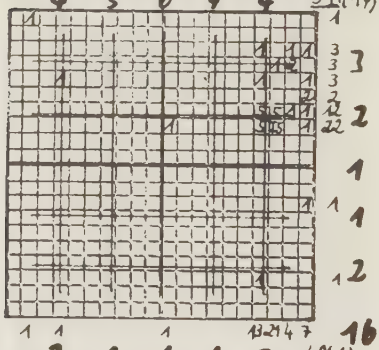


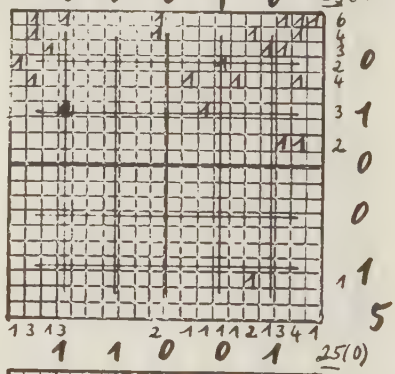


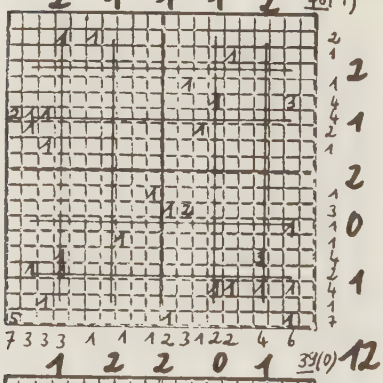
710 (18) 136 Lunkerschaubild Goß 38

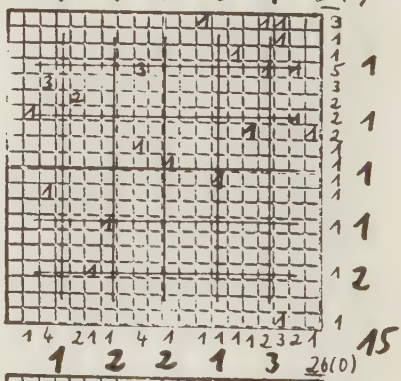


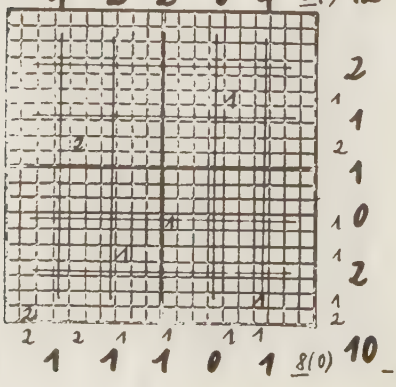


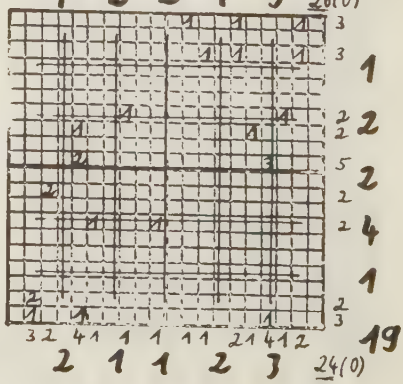




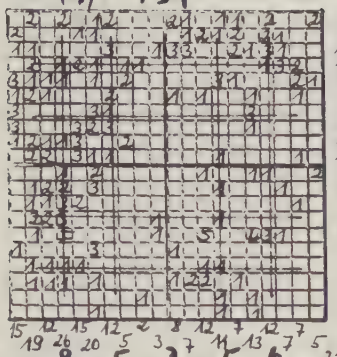


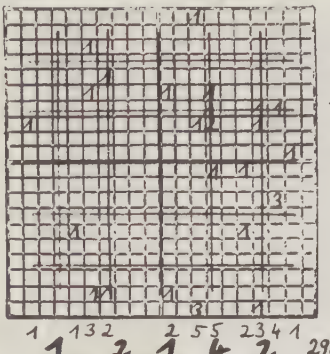


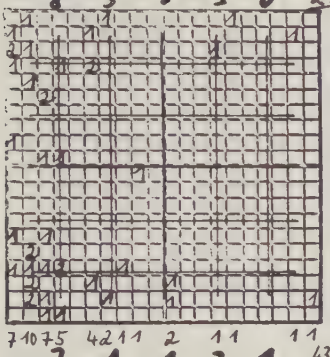


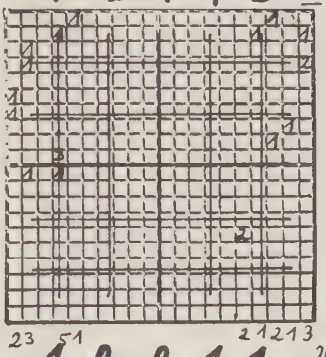


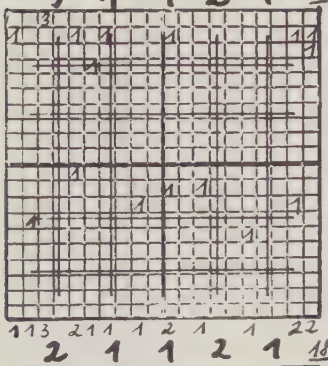
396 (1) 131 Lumkenschaubild 90/39

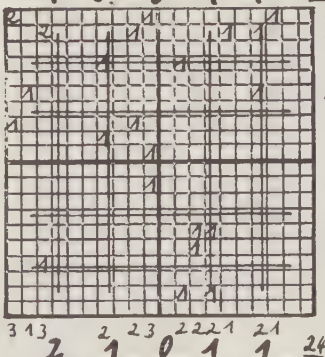


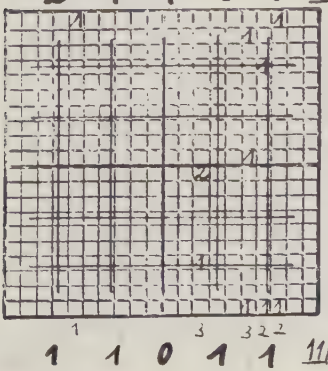


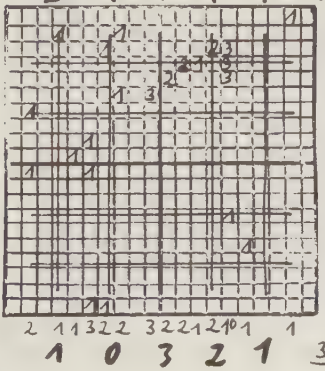


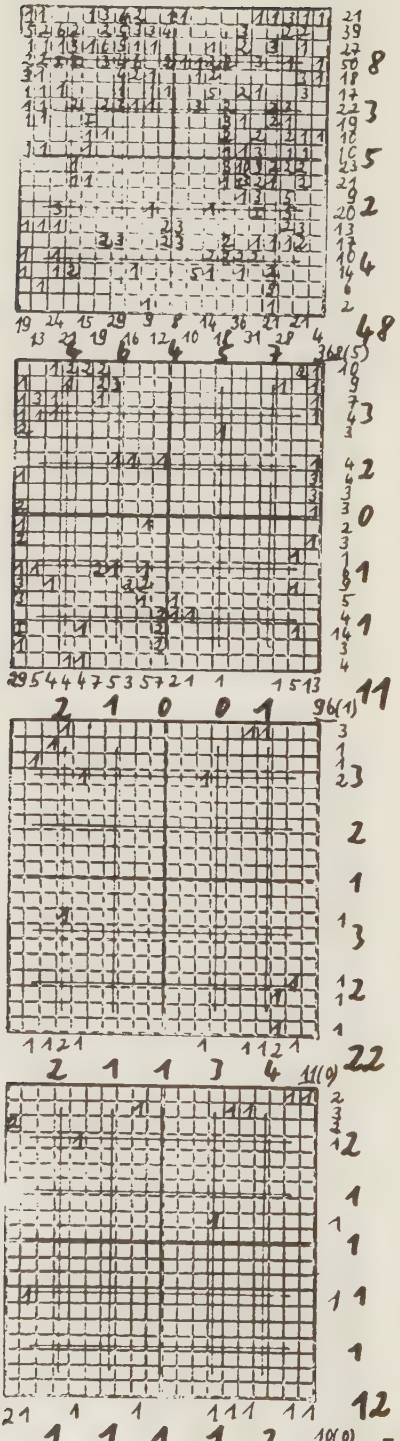




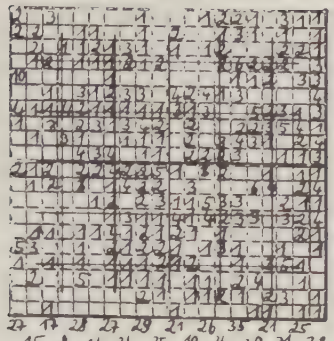


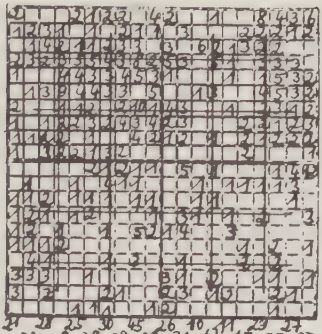


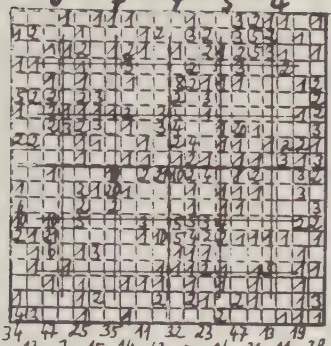


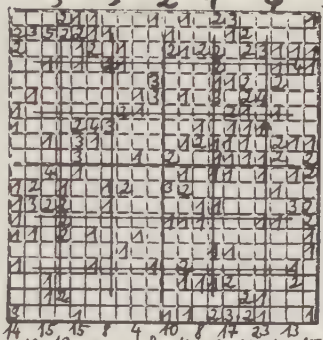


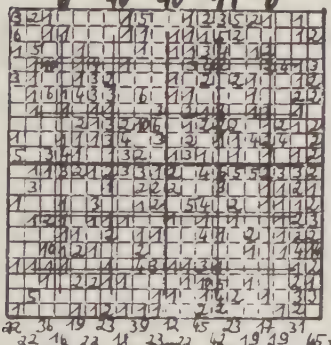
4987 (100) 505 Lunkensummenschaubildgoß 1+...+5

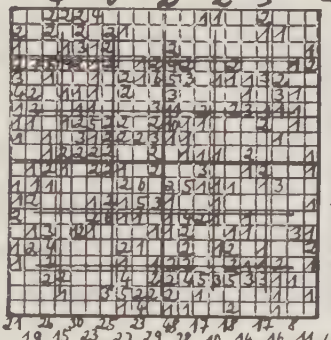


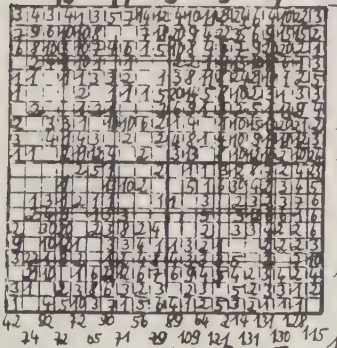


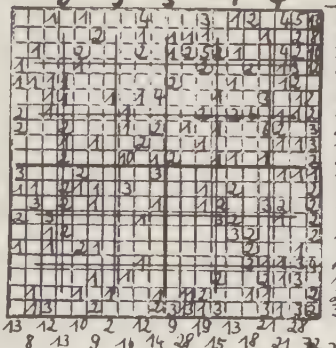




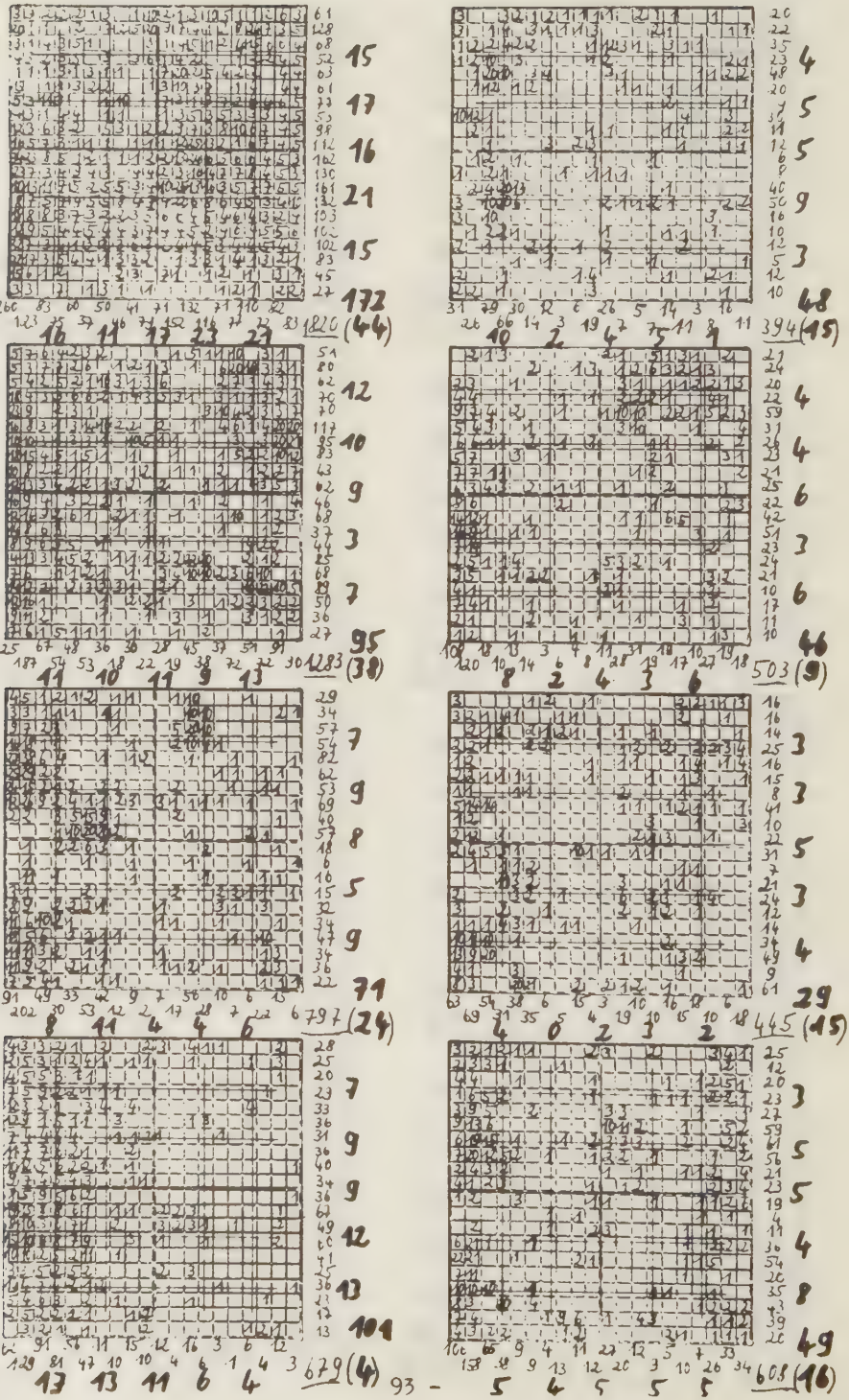




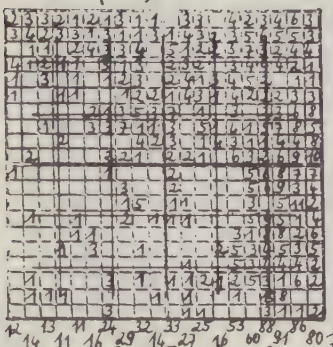




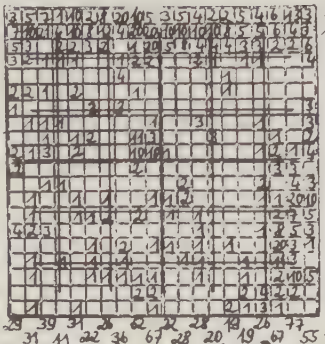
0529 (165) 611 Lunkersummenschaubild Gob 6+...+10



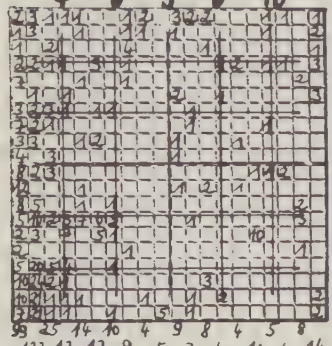
2954 (41) 309 Lunkensummenschaubild Guß 11+...+15



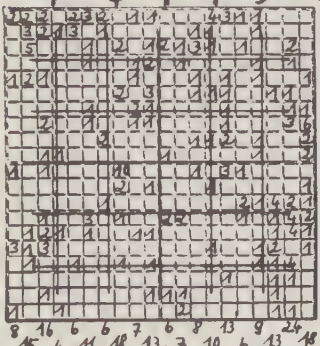
735 (1)



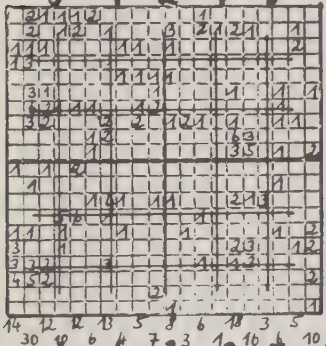
715 (21)



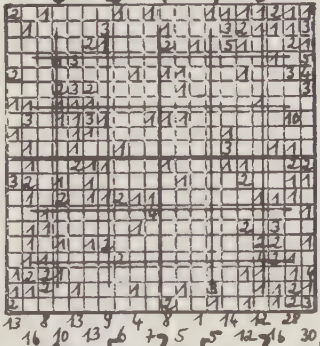
396 (9)



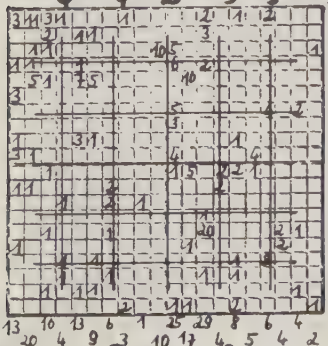
218 (1)



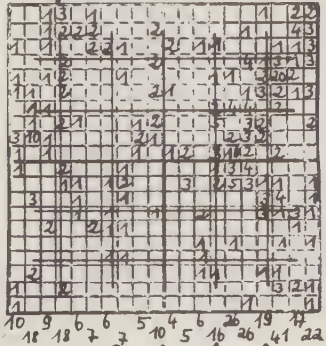
189 (0)



230 (1)

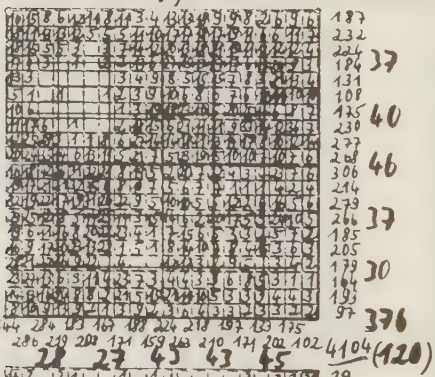


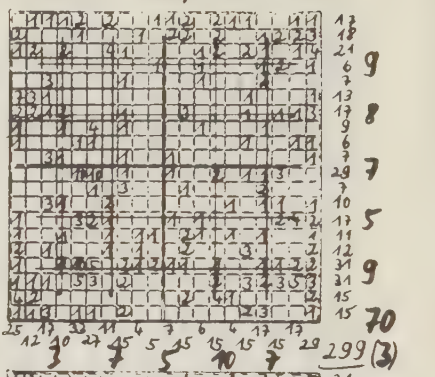
193 (4)

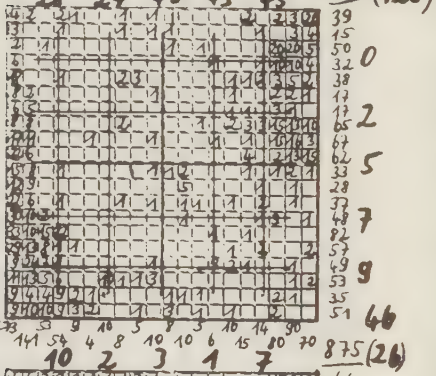


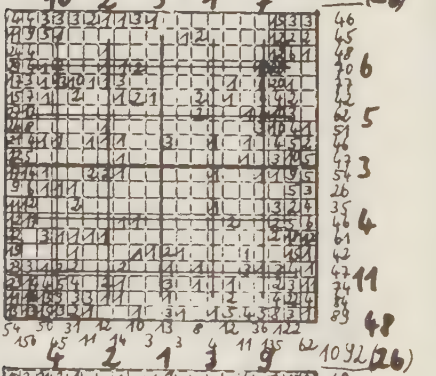
278 (4)

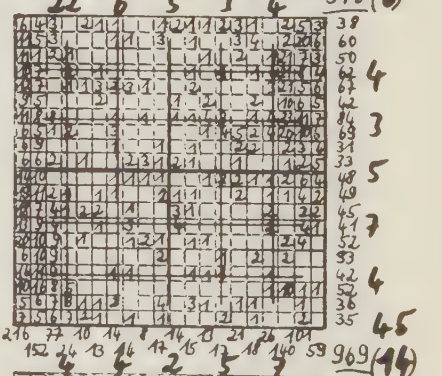
10337(247) 748 Lunkersummenschaubildguß 16+ ... +20

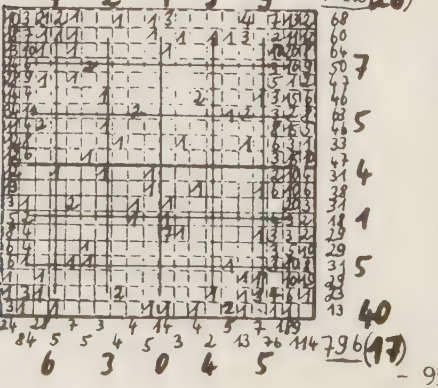




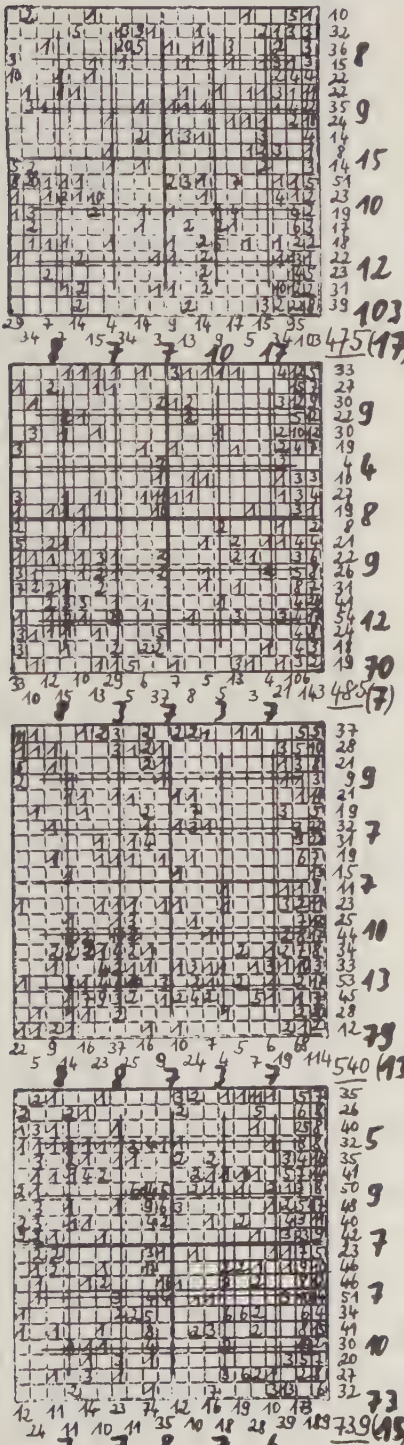




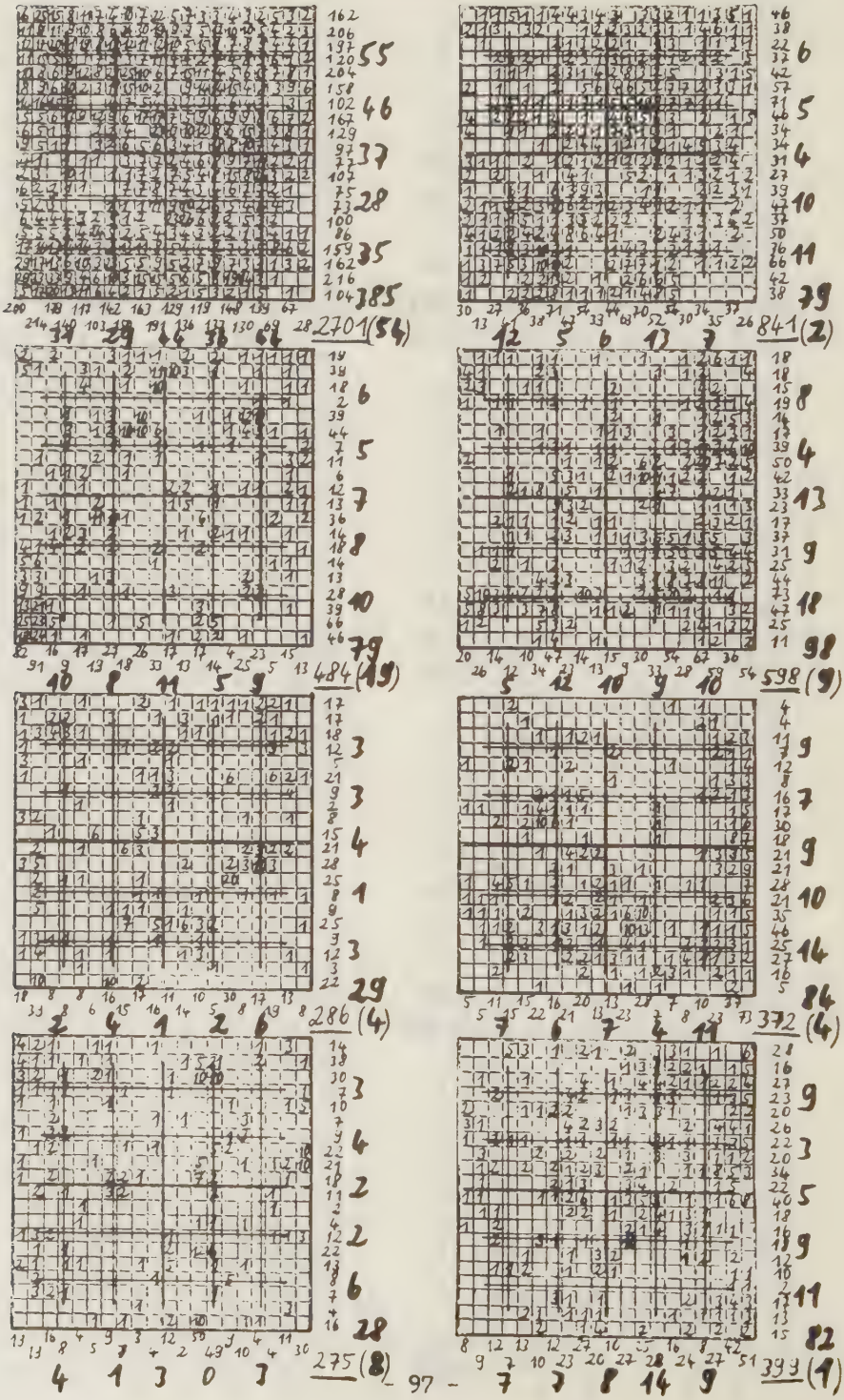




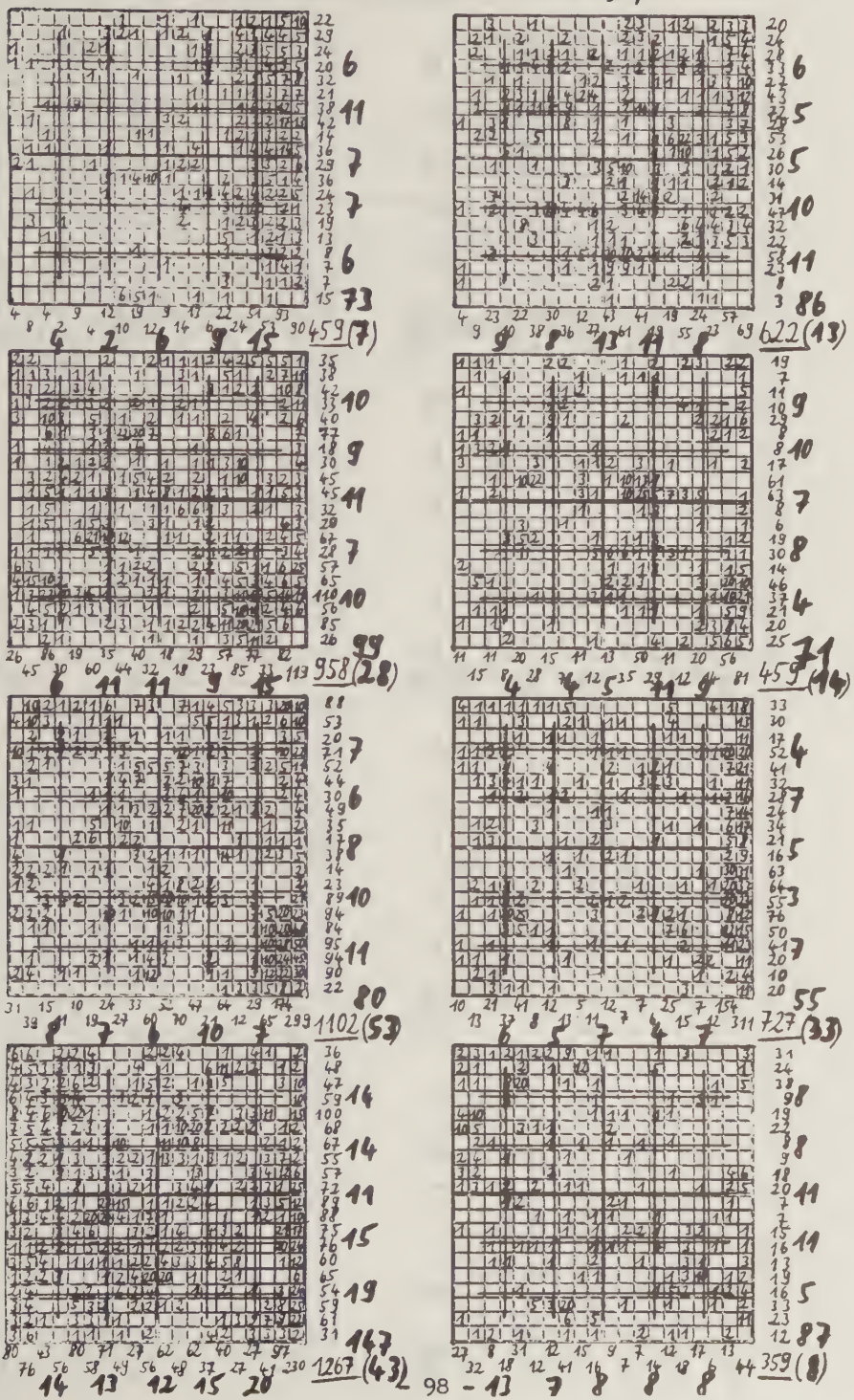
6931 (101) 611 Lunkensummenschaubild Guß 21+... +25



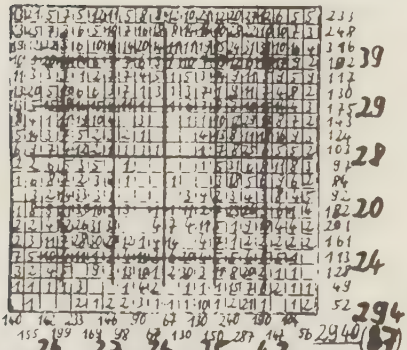
5956 (101) 864 Lunkersummenschaubild Guß 26+...+30

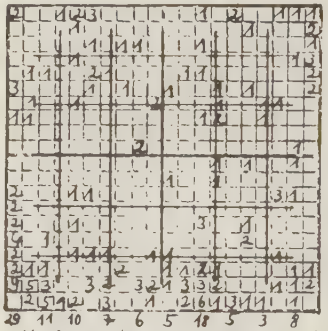


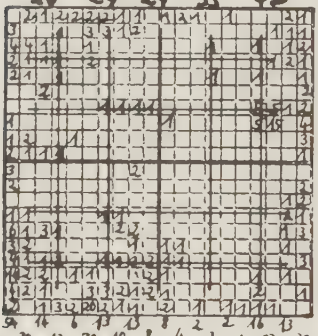
5953 (199) 698 Lunkersummenschaubild Goß 31+...+35

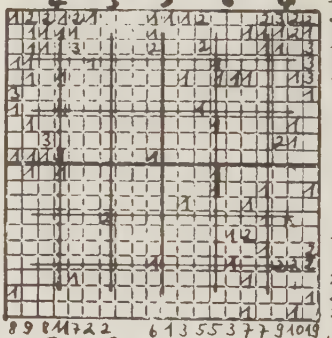


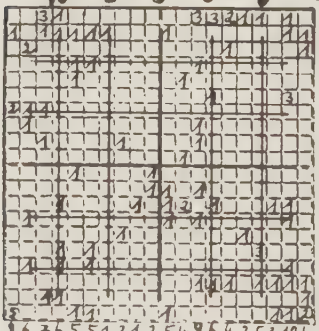
4005 (83) 679 Lunkensummenschaubild Guß 36+...+40

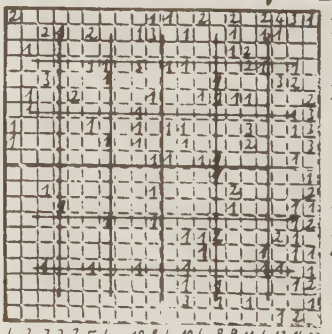


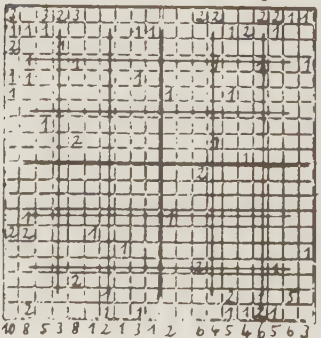


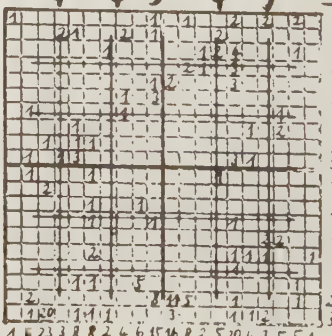












Herrn Professor Dr. H. Marx danke ich für die Überlassung des Themas und für seine tatkräftige Hilfe bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Dr. Scheidt danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

LEBENSLAUF

25.3.1947	Geburt als Sohn des Lehrers Robert Schwarz und dessen Ehefrau Albertine, geb. Rettig in Wernigerode/Sachsen-Anhalt
1950	Übersiedlung nach Pirmasens
1953	Eintritt in Volksschule
1958	Übertritt in Staatl.-Math.-Naturw. Gymnasium
1966	Abitur
1966	Studium der Zahnheilkunde an Johannes Gutenberg-Universität Mainz
1967	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
1969	Zahnärztliche Vorprüfung
1972	Staatsexamen und Approbation der Zahnheilkunde
Okt. - Dez. 1972	Wehrübung
Febr. - Dez. 1973	Assistent in einer Praxis bei Hildesheim
Jan. 1974	Assistent in einer Praxis bei Ingolstadt